TRABAJO FINAL INTEGRADOR

ESPECIALIZACIÓN en

COMUNICACIÓN PÚBLICA de la CIENCIA y

PERIODISMO CIENTÍFICO

TÍTULO: Libros de divulgación científica “Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos” y “Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein”

AUTOR: Dr. Alberto Díaz Añel

TUTOR: Dra. Susana Gallardo

CÓRDOBA, 28 de febrero de 2013

ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN,
FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS SOCIALES

FACULTAD DE MATEMÁTICA, ASTRONOMÍA Y FÍSICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Resumen

Si bien actualmente existen numerosos trabajos de comunicación popular de las ciencias biológicas, a los cuales se puede acceder en diversos formatos, es interesante notar que mucha de la información ofrecida es por lo general incompleta o parcial. Muchas veces ese fenómeno se debe quizás al hecho que son los mismos autores de ese material quienes se ven limitados en la información que poseen, pero también en numerosos casos existe una tendencia a pensar que el lector, lego en esos temas, sería incapaz de asimilar demasiada información científica, reafirmando el modelo de déficit de la comunicación pública de la ciencia.

El presente trabajo de divulgación intenta cubrir algunas de esas falencias en lo que respecta a la comunicación de las ciencias biológicas, a través de dos enfoques diferentes. El primero de ellos está direccionado hacia la descripción completa de un tema central de la biología, la célula, pero a través de capítulos que muestran diferentes aspectos del tema, incluyendo los estrictamente científicos -en un lenguaje ameno y sencillo, pero sin menospreciar al lector- como también todo lo relacionado a la historia y a la vida cotidiana, de manera que el lector pueda acceder a la temática científica en una forma más agradable y atractiva.

El segundo enfoque utiliza lo que se conoce como “ciencia de contrabando”. Desde una temática atractiva, en este caso monstruos famosos, se infiltran explicaciones científicas en tono divulgativo, que sirven como excusa para confirmar si realmente es posible la existencia de semejantes fenómenos de la naturaleza.

Finalmente, el formato elegido para este trabajo es el del libro, ya que a pesar de los cambios tecnológicos de los últimos años no ha perdido vigencia a la hora de comunicar información a las masas. Si bien la presentación para este trabajo final es en papel, no se descarta que pueda también ser presentado en un formato digital, acorde a los tiempos que corren.

Índice

Resumen 1
Índice 2
Introducción 3
Objetivos del libro "Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos" 5
Objetivos del libro "Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein" 6
Marco teórico 7
Procedimientos, materiales y métodos 8
Resultados: "Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos" 9
Resultados: libro "Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein" 83
Bibliografía del libro "Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos" 105
Bibliografía del libro "Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein" 106
Agradecimientos 108

Se adjuntan los materiales producidos en formato libro en los Anexos 1 y 2.

Introducción

La comunicación pública de la ciencia, muchas veces ignorada o menospreciada, ha sido desde siempre uno de los pilares sobre los que se ha apoyado el conocimiento universal de la humanidad. Ha venido acompañando al avance científico desde que grandes pioneros iniciaron sus investigaciones, las que sirvieron para asentar y posteriormente desarrollar a las áreas científicas que hoy día conocemos, desde la química y la física, hasta la biología y la astronomía.

La necesidad de divulgar la ciencia ha sido impulsada tanto por aquellos científicos que consideraban que su trabajo pertenecía a toda la sociedad -Galileo Galilei con sus *Diálogos* es un claro ejemplo de ello-, como por el asombro que los grandes descubrimientos promovían en el público, despertando una curiosidad que era nada más y nada menos que el mero reflejo de la necesidad humana innata de conocer los misterios de la naturaleza.

Mucho se ha dicho acerca de los motivos que llevan a los científicos a querer contar su trabajo en un lenguaje llano y comprensible para el resto de la sociedad. Si bien una de las razones más citadas es la de demostrar que el dinero del erario público ha sido bien invertido -en países como el nuestro o los Estados Unidos, en donde el estado aporta la mayor parte del dinero para investigación-, está claro que en el mundo globalizado del siglo XXI, en donde la información fluye a velocidades nunca antes imaginadas, las nuevas generaciones de científicos han encontrado una gran variedad de lugares en donde poder saciar la curiosidad de la sociedad toda, que aun al día de hoy “donde ya no hay nada nuevo que descubrir” -frase desacertada si las hay- no deja de asombrarse con los innumerables hallazgos que surgen de la comunidad científica.

Además, el mundo está cambiando rápidamente, y “el pueblo quiere saber de qué se trata”. Contaminación ambiental, energía nuclear con usos pacíficos, cultivos y animales transgénicos, células madre, tratamientos contra el cáncer, son temas corrientes en los medios audiovisuales, generando una exigencia de conocimiento por parte del público en general, ya sea para saber donde se está parado ante las nuevas aplicaciones de los descubrimientos científicos, o para reclamar por soluciones o curas urgentes.

Las formas en que el conocimiento científico llega a la sociedad se han multiplicado enormemente en las últimas décadas. Al principio fue el tallado en piedra y la escritura en papiros, aunque igualmente esos primeros intentos de pasar la sabiduría a futuras generaciones no estaban destinados a legos, sino a profesionales del mismo nivel de conocimientos de aquellos que los habían perpetuado en paredes o papeles.

La aparición de la imprenta en el siglo XV fue un gran espaldarazo para expandir los conocimientos científicos a toda la comunidad, no solo aquella especializada en esas áreas, sino también al resto de la sociedad, como ocurrió con los anteriormente citados *Diálogos* de Galileo.

El siglo XX trajo nuevas formas de expresión, y la radio, la televisión y finalmente internet, aportaron nuevos medios globales para contar la ciencia, a tal

punto que en la actualidad existen en todo el mundo programas de radio y canales de televisión enteramente dedicados a difundir temas científicos. De cualquier manera, con la expansión de internet y de los medios utilizados para su difusión, sobre todo los portátiles -computadoras, tabletas, teléfonos celulares-, la divulgación científica alcanzó su máxima expansión.

Y a pesar de todos estos avances tecnológicos, una de las primeras formas de difusión de la ciencia, el libro, todavía no ha perdido su vigencia. Ya sea en el soporte de papel -todavía preferido por muchos- como en el digital, el público sigue prefiriendo un buen libro a la hora de entretenerse, informarse o instruirse, sobre todo cuando se trata de temas científicos.

Es por ello que para este trabajo final integrador se ha elegido el formato libro para divulgar temas científicos relacionados con la biología. Y dichos temas no fueron seleccionados al azar, sino que tienen que ver con algunas de las necesidades de la sociedad, sobre todo en lo que tiene que ver con el conocimiento del funcionamiento de nuestros propios cuerpos y del mundo que nos rodea y con el que estamos en contacto diariamente.

Es importante destacar que este trabajo no podría haber sido realizado sin los conocimientos adquiridos durante la Especialización en Comunicación Pública de la Ciencia y Periodismo Científico. Las materias que más influyeron en la elaboración de este trabajo han sido aquellas que hicieron hincapié en las variadas formas que existen para comunicar al público los contenidos científicos, como en *Introducción a la Comunicación Pública de la Ciencia*, las estrategias que se utilizan para dirigirse a los lectores, ya sea de manera general, como en *Técnicas Básicas del Periodismo*, o particularmente cuando se trata de temas científicos, como en la materia *Técnicas del Periodismo Científico*. El estilo de la escritura con el que han sido desarrolladas las dos propuestas presentadas en este trabajo, se ha basado ampliamente en los contenidos expuestos durante el cursado de la materia *Taller de Análisis de Textos Científicos*.

Objetivos del libro “Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos”

La presente propuesta está destinada a divulgar varios aspectos de una de las áreas de las ciencias naturales que actualmente presenta mayor demanda, pero que a su vez en nuestro país carece de los profesionales necesarios para cubrir los requerimientos de la sociedad.

Muchas de las incógnitas que surgieron desde los orígenes de la ciencia han sido develadas a partir de un área científica que ha mostrado un constante crecimiento desde hace varias décadas, la *biología celular*. La misma tuvo sus orígenes a partir del descubrimiento del microscopio en el siglo XVII y del establecimiento de la *teoría celular* hace más de ciento setenta años, enriqueciéndose en los últimos tiempos con el desciframiento de diferentes genomas y con el avance vertiginoso de la biología molecular.

Los progresos obtenidos en el estudio de las células y sus componentes internos, y particularmente en la comprensión de su funcionamiento y su interacción con el medio ambiente que las rodean, han permitido entre otras cosas el desarrollo de nuevas terapias contra el cáncer, la mejora en la detección precoz de enfermedades hereditarias, y la adquisición de un mayor conocimiento acerca de las funciones del cerebro, lo que en un futuro cercano podría ayudar a determinar dónde y cómo se originan los trastornos neuropsiquiátricos y las enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson y el Alzheimer.

Existen actualmente muy pocos libros de divulgación científica en español que traten el tema de la biología desde el punto de vista de la célula, que justamente es ni más ni menos que la unidad fundamental de los organismos vivos que habitan este planeta.

Algunos de esos libros tratan sobre la historia de la biología celular pero sin ahondar demasiado en el funcionamiento detallado de la célula, otros muestran los aspectos “culinarios” de algunos microorganismos formados por células individuales, pero no van más allá de ese tipo de temáticas, y por otro lado existen unos pocos autores que se atreven a sumergirse en el mundo interno celular -complejo si los hay-, pero obviando incorporar por lo menos un poco de historia.

El objetivo de la presente propuesta fue desarrollar un libro en donde se abarquen todos los aspectos relacionados a la célula, como ser su aporte a la creación de la civilización humana, su historia bastante reciente -al menos a nivel de las observaciones científicas- y la descripción de su mundo interno, su variada gama de funciones, y aquello que a los seres humanos nos hace iguales y diferentes a la vez con el resto de los seres vivos de este planeta.

Este libro está destinado al público en general, particularmente aquellos con educación básica secundaria o superior, pero también tiene como objetivo complementar a la educación media en el área de biología, tratando de captar a los jóvenes en plena etapa de la formación de aquella vocación que los llevará a elegir una carrera universitaria.

Objetivos del libro “Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein”

Esta propuesta busca atraer a un público quizás un poco más amplio que el del libro anterior, aprovechando de alguna manera el contradictorio atractivo que poseen los monstruos en los jóvenes, y la nostalgia que en un sector del público adulto producen algunos de los famosos personajes que aparecen en el texto.

El propósito principal de este trabajo surgió a partir de la selección de los monstruos más famosos de la literatura y del cine, analizando algunas de sus características destacadas desde el punto de vista de la ciencia.

Utilizando esta estrategia, se buscó como objetivo explicarle al lector el funcionamiento de distintos sistemas del cuerpo humano y la influencia del medio ambiente en el mismo, abarcando áreas tan variadas como las neurociencias, la genética, la inmunología, la microbiología, la psicología y la embriología.

Marco teórico

Como se expresó más arriba, existe una importante carencia con respecto a la información que es volcada a la sociedad en relación a determinados temas científicos, lo cual se debe en gran parte a la preponderancia del modelo de déficit en la divulgación. Es necesario que los divulgadores científicos se aventuren y se atrevan a explicar de manera clara y sencilla muchos de los fenómenos de la naturaleza, pero tratando de no omitir nada, ofreciendo explicaciones completas e interconectadas entre sí, ya que finalmente es el lector el que decide si toma total o parcialmente la información que se le ofrece.

En base a esto, para el primer libro se decidió realizar un trabajo que abarcara todos los aspectos de un tema en particular, la célula, ya que la bibliografía existente carece de este tipo de expresiones de comunicación tan completas. Si bien este trabajo ha tomado parte de la información de literatura de divulgación científica de primer nivel, la mayoría de los temas tratados han sido extraídos de bibliografía científica actualizada. Además, la combinación de áreas que se ha seleccionado para difundir la temática científica elegida es completamente original, ya que permite abarcar un tema central desde todos los ángulos posibles.

En el caso del segundo libro, se ha decidido aplicar una técnica inversa al primero. El tópico original no es científico, sino que es popular, y es a través de esa temática de amplia difusión en la sociedad que se accede a áreas biológicas del conocimiento que son explicadas de manera amena. En este punto también se podría hablar de un marco histórico, ya que el origen de los personajes centrales de cada capítulo (de los cuales solo se presenta el primero), en todos los casos está marcado por alguna obra literaria famosa, películas taquilleras, mitos o leyendas populares, e inclusive hechos destacados de la historia de la humanidad.

Procedimientos, materiales y métodos

Para la confección de ambos libros se optó por un formato dividido en secciones temáticas específicas, con el agregado de recuadros en donde se desarrollaron temas accesorios, más descriptivos o con anécdotas curiosas.

En el caso del libro sobre la célula, se hizo uso de bibliografía divulgativa para los primeros dos capítulos, los cuales se refieren al aspecto gastronómico y al contexto histórico de las células. En algunos casos se recurrió a biografías de científicos famosos, extrayéndose la información pertinente de sitios autorizados en internet, como por ejemplo la página oficial de los Premios Nobel. Para los últimos dos capítulos, los tópicos científicos fueron extraídos de libros especializados, a partir de los cuales se procedió a transmitir los conceptos principales en un lenguaje más ameno y menos técnico.

La base del segundo libro fue una obra literaria clásica, la cual sirvió de excusa para explayarse en dos áreas de la ciencia de amplio interés, las neurociencias y los trasplantes de tejidos y órganos. Al igual que con el primer libro, la información científica fue tomada de libros especializados en ambas áreas.

En ambos libros se hizo uso de algunas figuras ilustrativas, todas adquiridas del ámbito digital con derecho a su publicación gratuita. Se eligieron imágenes que enseñaran de manera clara y sencilla los ítems centrales de ambos libros.

Para la escritura se utilizó el procesador de textos Word de Microsoft Office 2007. Algunas de las imágenes utilizadas fueron adaptadas a los libros (cambio de colores y tamaños, traducción del inglés al español de su contenido), mediante el uso del programa Adobe Photoshop CS4. Este mismo programa sirvió para armar y colorear las portadas de ambos libros, las cuales fueron primero dibujadas a mano por el autor del trabajo para posteriormente proceder a su digitalización por escaneo. Todos los programas fueron utilizados en una PC de escritorio con el sistema operativo Windows 7, y para la digitalización de imágenes fue empleado un escáner Microtek.

Resultados

Libro “Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos”

Este libro consta de cuatro capítulos, precedidos por un índice general y un prólogo y seguidas por un epílogo y la bibliografía. El mismo incluye algunas ilustraciones que facilitarán la comprensión del texto, junto con recuadros intercalados que buscan ampliar y complementar la información volcada en el texto principal.

Una de las intenciones de esta propuesta es que, de ser publicada, se hiciera tanto en formato papel como digital, de manera que pueda ser utilizada por los lectores tanto para uso personal como educativo, a través de la posibilidad de extraer individualmente tanto fragmentos del texto o de los recuadros como las imágenes insertadas.

Las secciones principales del libro son:

- Células y civilización: En este capítulo se describe el papel de las células, en particular los microorganismos como bacterias y hongos, en el establecimiento de las grandes ciudades que dieron origen a las primeras civilizaciones humanas. Este avance fue logrado gracias a la participación de estas células en un sinnúmero de procesos que permitieron la elaboración de alimentos y bebidas, lo cual se desarrolló de manera paralela al establecimiento de actividades nómades como la agricultura y la ganadería.

- La era del microscopio: Esta sección es estrictamente histórica, y se encarga de narrar el descubrimiento de la existencia de las células a partir de la invención del microscopio. Continúa con los diferentes hallazgos que hicieron posible el enunciado de la teoría celular, el desterramiento de la generación espontánea, y el desarrollo de las primeras vacunas.

- Las células por dentro: Este capítulo es exclusivamente biológico y en él se describe a la célula y sus componentes desde el exterior hacia el interior de la misma. Detalla de una manera amena y clara la forma, localización y funciones de cada componente de la maquinaria celular, haciendo un par de paréntesis en la sección del núcleo, en donde se explican las etapas que llevan a la producción de proteínas a partir del ADN y cómo los hijos heredan las características de los padres.

- Una célula, muchas células: En esta sección final se delinea a las células desde su condición de organismos individuales hasta llegar a los niveles de mayor complejidad. Se explican las diferentes formas en que se organizan las células, desde la individualidad hasta la formación de tejidos en plantas y animales. Se divide a las células por su carácter *unicelular -Archaea* y bacterias- y *pluricelular*

-protistas, hongos, plantas y animales- mostrando las características destacadas en cada uno de estos grupos y quiénes son sus representantes más sobresalientes en la naturaleza.

Finalmente, en el epílogo, se tratan brevemente algunos de los temas que no se discutieron en el libro, ya sea por su complejidad o por su extensión. Se discute particularmente sobre la posibilidad de que las células fallen y las consecuencias que ello trae -como las enfermedades congénitas o hereditarias-, y se manifiesta brevemente acerca de la bioética y cómo la misma acompaña lentamente al crecimiento acelerado de los conocimientos sobre nuestro genoma y su manipulación.

A continuación se presenta el texto completo del primer libro, el cual se ha anexado a este trabajo (**Anexo 1**) en un formato libro estándar de 150 x 210 mm, letra Times New Roman tamaño 10, con cubierta ilustrada, índice y bibliografía.

PRÓLOGO

¿Por qué escribir un libro sobre la célula? ¿Es más, para qué leerlo? ¿Qué tiene ese ente microscópico que le pueda interesar a alguien que está más preocupado por llegar con el sueldo a fin de mes, aprobar un examen del colegio u organizar un asado con los amigos?

Bien, la idea central de este libro no es solamente mostrar una serie de datos inherentes a las células y el mundo que las rodea, sino también aprender un poco de su historia, quiénes hicieron posible que hoy las conozcamos al detalle, y descubrir cómo nos han venido acompañando durante siglos - para bien y para mal - sin que nos diéramos cuenta de su existencia por mucho tiempo.

Con este libro vamos a emprender un viaje. A través de él vamos a ir al pasado, aunque no muy lejos, ya que si bien existen células desde hace millones de años, el concepto de su existencia apenas supera los tres siglos. De cualquier manera, también iremos un poco más atrás y haremos un repaso de cómo las células vienen ayudando al hombre desde hace miles de años, aunque en esas épocas éste no lo haya notado. ¿Y cómo se manifestó esa ayuda? Prepárense un sándwich de pan y queso, sírvanse una copita de vino o un vaso de cerveza -o los dos si prefieren-, y no solo van a tener un acompañamiento para leer este libro, sino también una pista. Ah, y de postre algo de chocolate ¿No se dieron cuenta todavía? La respuesta la van a tener pronto, en el primer capítulo del libro.

Más adelante conoceremos a los hombres a quienes debemos el concepto de "célula". ¿Por qué ese nombre y no otro? Pero aun antes que eso vamos a conocer a los científicos que con sus invenciones nos permitieron enterarnos de la existencia de las células, porque como se imaginarán no son tan fáciles de distinguir a simple vista. Y si no se lo imaginan, con este libro van a aprender por qué para observar a una célula no alcanza con nuestros ojos. ¡Ni siquiera con los anteojos puestos!

Después el viaje se va a tornar más simple. ¿O más complicado? Más simple porque ya sabremos que es una célula, pero más complicado porque empezaremos a descubrir que no es una esfera llena de gelatina que crece y se multiplica, sino que está formada por minúsculas estructuras complejas, cada una con funciones específicas que son las que le dan "vida" a la célula.

Así iremos transitando una senda que sigue casi el mismo orden en el que se fueron revelando todos los aspectos relacionados a las células. Primero vamos a verlas como un todo, y luego iremos incrementando el "aumento", tal cual se hace con un microscopio. De esta manera descubriremos paso a paso la “maquinaria” que las hace funcionar de una manera cercana a la perfección.

Finalmente transitaremos por la evolución de los organismos que viven en nuestro planeta, para ir viendo cómo el desarrollo y el aumento en la complejidad de las células contribuyeron a la gran variabilidad de especies que existen. Recorreremos un camino que nos llevará desde las células más sencillas hasta las más especializadas, donde vamos a ver que si bien todas tienen muchas cosas en común, también se pueden dar el lujo de variar enormemente en forma, tamaño y

función de acuerdo a lo que les dicte el ambiente que las rodea, las células vecinas o a qué parte de qué organismo pertenezcan.

Esperemos que el viaje que iniciaremos a partir de ahora sea entretenido y que le permita al lector ampliar sus conocimientos sobre algo que puede parecer sin importancia, minúsculo, insignificante, pero que contiene la esencia de la vida misma, y que todos conocemos como "la célula".

Capítulo 1

Células y civilización: microorganismos que ayudan al hombre

Con una pequeña ayudita de mis amigos

Actualmente sabemos que nuestros cuerpos están formados por millones de células que trabajan de manera coordinada, pero para que ello ocurriera hubo que esperar miles de millones de años de evolución, ya que en el principio de la vida las células se las arreglaban por sí mismas para sobrevivir. Afortunadamente, muchos descendientes de esos organismos primigenios aun están entre nosotros y siguen trabajando en solitario, y fue en parte gracias a muchos de ellos y su denodada colaboración que nuestra especie pudo dar los grandes pasos que se necesitaban para crear las grandes civilizaciones que sentaron las bases de lo que es nuestro mundo actual.

Definición de célula (para impacientes)
(Del latín cellulla, diminutivo de cella, hueco).
1. *f. Biol. Unidad fundamental de los organismos vivos, generalmente de tamaño microscópico, capaz de reproducción independiente y formada por un citoplasma y un núcleo rodeados por una membrana".*
¿Qué quiere decir todo esto? Que las células son la mínima expresión de lo que se considera un ser vivo, ya sea individualmente –los *unicelulares*- o formando organismos más complejos –los *pluricelulares*-; que solo pueden verse con la ayuda de microscopios; que pueden multiplicarse por sí solas sin ayuda de nadie; que están delimitadas por una membrana, y cuyo contenido está formado por un *citoplasma* –que veremos tiene muchos componentes- y que dentro del mismo está contenida una estructura central o *núcleo*, que su vez almacena y protege la información genética necesaria para que esas células vivan y se reproduzcan.

Dichas civilizaciones se desarrollaron, entre otras cosas, gracias a su eficiencia para alimentar a las poblaciones de las grandes ciudades que comenzaron a establecerse hace miles de años, hecho que contó con la invaluable ayuda de un gran número de organismos microscópicos formados por una sola célula, y a los cuales se los conoció como *unicelulares*, a diferencia de nosotros, que al estar formados por muchas células somos *pluricelulares*. De cualquier manera, los humanos de aquel entonces no tenían ni idea de los servicios que estaban recibiendo de parte de estas entidades invisibles a nuestros ojos, ya que el concepto de "célula" se desarrolló recién a mediados del siglo XVII, hace unos trescientos cincuenta años, cuando los primeros microscopios aparecieron en escena.

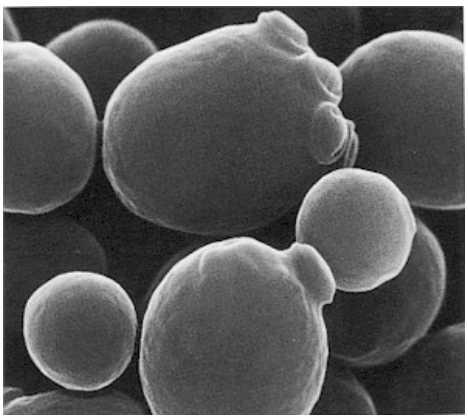
Tal cual ocurrió con la historia de la humanidad, vamos a ver primero cómo algunas células contribuyeron a que estemos parados donde estamos ahora, y como aun nos siguen ayudando. Más adelante veremos con más detalle cómo se

fue construyendo el concepto de célula, a través de la contribución de las agudas observaciones de grandes científicos e inventores. Pero como adelanto para los más impacientes, y para no crear más expectativa, en el recuadro que acompaña a este texto tienen una definición actual de lo que es una célula, según una de las fuentes más precisas que se puedan consultar: el diccionario de la Real Academia Española.

No solo de pan vive el hombre

Lo que dice el título es una gran verdad, pero tenemos que reconocer que el pan es uno de los alimentos más antiguos entre los elaborados por el hombre, y que además posee un papel central en la dieta de la mayoría de la población humana.

Y qué tiene que ver el pan con las células? Mucho. Posiblemente algunos ya lo sepan, pero para que un buen pan sea esponjoso y suave se necesitan organismos unicelulares, a los cuales se los conoce con el nombre de *levaduras*. Si, ese cubito húmedo de un olor bastante agradable, o ese polvito granulado que se utilizan para "levar" (de allí el nombre de estas células) el pan o la masa de la pizza, son nada más y nada menos que un montón de células concentradas. Es más, son hongos unicelulares. El tipo más común de levaduras utilizado en panadería tiene como nombre científico *Saccharomyces cerevisiae*, que quiere decir algo así como “hongo del azúcar cervecero”, ya que también se las utiliza en la producción de esa venerable bebida alcohólica, de la cual nos ocuparemos más adelante.



Levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae*

Ahora bien, para alcanzar un número de células tan grande como el que se requiere para levar un pan, este tipo de organismos necesita reproducirse rápidamente, y lo hace por un proceso conocido como *gemación*. ¿Y qué es la gemación? Es un tipo de división celular en la que la célula se escinde en dos partes de tamaño muy desigual, la menor de las cuales se conoce con el nombre de yema. Obviamente esta yema no tiene nada que ver con la de los huevos, pero si es similar al brote de las plantas que también recibe ese nombre, y que es de donde se van a originar ramas, hojas y flores. La gemación es un ejemplo claro de que las células son capaces de reproducirse independientemente, ya que a partir de una célula progenitora se forman dos células “hijas”, que a pesar de ser de diferente tamaño al principio, luego de un tiempo se hacen indistinguibles una de la otra.

Si bien las levaduras panaderas son hongos, no son del tipo dañino para la salud como otros organismos similares que a veces nos traen a maltraer, sobre

todo en épocas de alta humedad. De cualquier manera eso no importa mucho, ya que todas ellas mueren en el horno luego de haber cumplido su misión. ¿Y cuál es su misión? Por supuesto, levar la masa. ¿Y cómo es que estos diminutos seres pueden inflar una masa en tan pocos minutos? Bien, esto se debe a un proceso llamado *fermentación alcohólica*. La palabra fermentación proviene del latín *fervere*, que quiere decir "hervir", ya que si se colocan a las levaduras en agua y azúcar, luego de un rato va a parecer que la mezcla hierve. Eso mismo es lo que ocurre en la masa del pan. No es que realmente la masa hierva, simplemente que las levaduras llevan a cabo un proceso que es muy normal para ellas cuando se las pone en un ambiente húmedo, cálido y en presencia de azúcares, que son su alimento.

La harina de trigo que se utiliza comúnmente para hacer pan, posee en su gran mayoría -casi dos tercios- gránulos de almidón. Sí, el mismo que se usaba para planchar la ropa. El almidón es nada más y nada menos que una larga cadena cuyos eslabones son unas moléculas de azúcar llamadas *glucosa*. Cuando se agrega agua a la harina, los gránulos de almidón la absorben y las cadenas que lo forman se empiezan a romper liberando a sus eslabones -la glucosa-, que les sirven a las levaduras como fuente de nutrición.

Una vez que la glucosa está disponible, las levaduras se alimentan de ella para obtener la energía que necesitan para reproducirse –la gemación de la que hablábamos antes-, liberando etanol -el alcohol de farmacia- durante este proceso, junto con un gas, el dióxido de carbono, el mismo que nosotros liberamos al respirar. Ese gas es el que infla a la masa durante el proceso de levado, y lo que le da al pan esos agujeritos que lo hacen más suave y esponjoso. Lo que logra el horneado posterior al levado es que el dióxido de carbono se libere, el etanol se evapore y, lamentablemente, las levaduras mueran. Pero no se habrán sacrificado en vano, porque gracias a ellas tenemos un alimento mucho más apetecible.

¿Y desde cuando las levaduras han ayudado al hombre a hacer el pan? Según los historiadores, desde tiempos prehistóricos, aunque las primeras evidencias arqueológicas que relacionan a la producción de pan con las levaduras datan del Antiguo Egipto, hace unos seis mil años. Aparentemente el proceso de fermentación se dio por accidente, ya que es muy común que en el aire existan esporas de estos hongos -que es otra de las formas en la que se reproducen y que veremos con detalle más adelante-, las que aparentemente se posaron en masas que estaban descansando antes de ser horneadas. Esas levaduras hicieron que el pan fuera más suave y agradable al paladar.

Otro pequeño truco utilizado en Europa por los galos y los íberos entre los siglos I y V antes de Cristo, fue el de agregar a la masa la espuma de la cerveza, que también es elaborada por las levaduras, produciendo así un efecto más impresionante de levado que daba lugar a un pan todavía más liviano.

Uno de los documentos más extraordinarios que muestran la existencia de "panaderías" desde tiempos muy antiguos proviene de la tumba de Ramsés III, en el Valle de los Reyes en Egipto. Allí se encontró un bajorrelieve en donde puede verse una de las panaderías de la corte del mencionado faraón, en donde se advierten hogazas de pan de diferentes tamaños, inclusive con formas de animales, y se observa también la febril actividad de los panaderos, moliendo granos, amasando y horneando. Esto demuestra la importancia que tenía el pan en el Antiguo Egipto, a tal punto que se lo utilizaba como parte de pago, pero eso lo veremos en la siguiente sección de este capítulo.

La madre de todas las masas

Para poder mantener y hasta mejorar el efecto de levado, parece que los antiguos egipcios guardaban una porción de la masa del día anterior para preparar la del siguiente, preservando así una mayor cantidad de levaduras -aunque sin saberlo- que las que se pudieran obtener del aire. Este sistema todavía es utilizado en algunos tipos de panes muy especiales, como el pan de masa ácida de San Francisco, en Estados Unidos, cuya "masa madre" aparentemente viene utilizándose desde mediados de los mil ochocientos, o sea ¡hace más de ciento cincuenta años!

El hecho de que el pan se levara "mágicamente" creó algunas historias curiosas en el pasado, las cuales probablemente ahora nos causen gracia, pero que en su momento fueron algo serio. Por ejemplo, en la Inglaterra del siglo XV, a la espuma de la cerveza que era utilizada para hacer pan se la llamaba *goddisgoode* -que quiere decir algo así como "God is good" o "Dios es bueno"-, por considerarse que estaba hecha a través de una bendición de Dios.

Basándose en la Biblia, en el siglo XVII la Facultad de Medicina de París sugirió la prohibición del uso de la espuma de cerveza para la fabricación del pan por considerarla dañina para la salud, ya que en su primera carta a los Corintios, San Pablo decía que era una sustancia corrupta. De cualquier manera los panaderos la siguieron utilizando de manera clandestina, ya que gracias a ella podían preparar el pan liviano que tanto le gustaba a la población.

En 1680, con la invención del microscopio, pudieron verse las primeras levaduras, pero en ese momento no se las consideró como seres vivos. Es más, unos ciento cincuenta años más tarde hubo un pequeño desencuentro entre dos científicos alemanes, Theodore Schwann (1810-1882) y Justus Liebig (1803-1873), acerca del papel de las levaduras en la fermentación. Schwann afirmaba que las levaduras eran seres vivos y los definió como hongos, llamándolas *Zuckerpilz*, u hongos del azúcar en alemán, lo que fue traducido luego al latín por su compatriota Julius Meyen (1804-1840) como *Saccharomyces*, que es el nombre científico por el cual las conocemos actualmente. Por su parte, Liebig, al igual que otros químicos de la época, aseveraba que las levaduras eran solamente un residuo de la descomposición de los azúcares. Por suerte pocos años después apareció el científico francés Louis Pasteur para probar que Schwann estaba en lo correcto, pero eso ya es otra historia.

Barrilito de cerveza

Como hemos mencionado en la sección anterior, las levaduras también participan en la fabricación de la cerveza. A diferencia del pan, el alcohol que producen estos microorganismos durante la fermentación, el etanol, no se pierde sino que forma parte de la bebida que se está produciendo. Por lo tanto, el grado alcohólico de la cerveza depende del trabajo de estos pequeños seres microscópicos.

Primero hagamos un repaso de cómo se hace la cerveza. Al igual que con el pan, las levaduras necesitan azúcares para fermentar y producir etanol y dióxido de carbono. En el caso de la cerveza, esos azúcares también provienen del almidón, pero en este caso no del trigo, sino de otro cereal, la cebada. Pero ese almidón no está tan disponible como en la harina de trigo, ya que en la producción de cerveza se utilizan los granos enteros. ¿Y entonces como se hace? Se lleva a cabo un pequeño truco que es el llamado *malteado* de la cebada. El malteado consiste en agregarle agua a los granos de cebada y dejarlos germinar por unos días. Sí, de manera similar a como se lleva a cabo la germinación del poroto que todos alguna vez hicimos en la escuela ¿Y para qué sirve todo esto? Cuando la semilla comienza a crecer, empiezan a activarse dentro de ella unas proteínas llamadas *enzimas*. Las enzimas son unas proteínas muy particulares, ya que tienen la capacidad de hacer diferentes tipos de labores. En el caso de las que se activan en la cebada, su trabajo consiste en fragmentar al almidón hasta transformarlo en azúcares más simples, para que a las levaduras les resulte más fácil alimentarse.

Pasado un tiempo, las semillas germinadas se calientan para detener el proceso. Esto se puede hacer de varias formas diferentes, y de la temperatura y el grado de tostado depende la oscuridad de la malta -la cebada "malteada"-, la cual se va a reflejar en el color final de la cerveza.

Posteriormente se macera la malta para formar una mezcla con todos los ingredientes necesarios para la fermentación, sobre todo los azúcares simples. En ese momento se calienta el macerado a altas temperaturas para terminar de destruir a las enzimas que ya han cumplido su cometido.

A esta mezcla se la filtra para sacar los restos de granos, y lo que queda es conocido como *mosto*, que son todos los contenidos de la cebada disueltos en agua. Al mosto se lo calienta nuevamente para matar cualquier otro organismo contaminante -no se olviden que es rico en azúcares, por lo tanto cualquier cosa puede crecer ahí adentro-, y se le agrega el lúpulo. El lúpulo es una planta trepadora cuya flor se utiliza en la producción de la cerveza con varios fines. Por un lado compensa el dulzor de la malta con los sabores amargos típicos de la cerveza, y que proceden de algunos ácidos contenidos en la flor, y por otro lado le da un aroma propio que proviene de aceites volátiles. Además, esos ácidos del lúpulo tienen un leve efecto antibiótico, impidiendo que crezcan algunos tipos de bacterias que podrían contaminar el mosto.

De cualquier manera, a pesar del calentamiento y de la adición de lúpulo, éste último debe ser retirado para la fermentación, existiendo a partir de allí un gran peligro de contaminación. Entonces, se enfría el mosto lo más rápidamente posible para evitar el crecimiento de cualquier microorganismo que anduviera suelto por allí, algo similar a lo que hacemos cuando ponemos nuestros alimentos y bebidas en la heladera para que duren más tiempo. Es recién en ese momento cuando se agregan las levaduras, que en muchos casos son de diferente tipo según la cervecería que las utilice, dándole a cada cerveza una característica propia.

En la primera etapa, las levaduras se multiplican rápidamente gracias a la alta concentración de oxígeno del mosto, produciéndose a partir de ese momento una gran cantidad de espuma. Una vez que se acabó el oxígeno, las levaduras comienzan a utilizar los azúcares como fuente de energía para producir el etanol y el dióxido de carbono, lo cual ocurre en un período de una a tres semanas. Dependiendo del tipo de cerveza, se puede filtrar, pasteurizar -ya vamos a ver qué es eso- y embotellar, o se puede pasar a una segunda etapa de fermentación, como con las cervezas artesanales, en donde se les agrega más mosto y levaduras, y se las deja madurar por largo tiempo para fortalecer sus aromas y sabores.

Bien, ya sabemos cómo fabricar cerveza. Ahora bien, ¿cómo se hacía en la antigüedad? Parece que la cerveza es la bebida más antigua creada por el hombre. Y además, como vimos, va de la mano del pan. Se ha llegado a decir que el descubrimiento de la fabricación del pan y la cerveza fueron responsables de la habilidad de la humanidad para iniciar y desarrollar lo que hoy conocemos como civilización, de allí el título de este capítulo. Según Roger Protz, en su "Guía Completa al Mundo de la Cerveza" del año 2004, "*cuando la gente del mundo antiguo se dio cuenta que podían hacer pan y cerveza a partir de granos, dejaron de deambular y se asentaron para cultivar cereales en comunidades convencionales*".

Los primeros indicios de la fabricación de cerveza datan de hace unos cinco mil quinientos años, en la antigua región de Elam, actualmente Irán. Allí aparecen las primeras pistas arqueológicas de la fermentación de la cebada por parte de las civilizaciones Mesopotámicas.

La receta de cerveza más antigua conocida se encuentra en el Papiro del griego Zósimo de Panápolis, del siglo III, el primer alquimista del que se tenga conocimiento. Si bien existe una receta anterior que aparece en el canto de los Sumerios -que vivieron hace miles de años en el sur del actual Irak- dedicado a la diosa de la elaboración de la cerveza, Ninkasi, este canto es más una descripción del proceso de fabricación que una receta detallada.

En el Antiguo Egipto tanto la cerveza como el pan servían como forma de pago. Durante el Reino Antiguo (2686-2160 a.C.) la paga diaria de los trabajadores de las pirámides era de diez hogazas de pan y dos jarras de cerveza, mientras que por ejemplo el superintendente -algo así como el administrador- del Templo de Kahun, recibía dieciséis hogazas de pan y ocho jarras de cerveza

diarias durante el Reino Medio (2030-1640 a.C.). El pago a los trabajadores era el mínimo entre las diversas jerarquías, y si bien la cerveza de la época era menos alcohólica y más calórica, parece que apenas alcanzaba para mantenerlos con vida.

Ya más adelante en el tiempo, se sabe que las cervezas europeas, producidas a escala doméstica desde la época de los celtas y los germanos, además de la fuente de almidón poseían frutas, miel, varios tipos de plantas, especias y otras sustancias, entre ellas drogas narcóticas. Tenían cualquier cosa menos lúpulo, el cual recién es mencionado como ingrediente por un Abad en el año 822, y luego por la Abadesa alemana Hildegard de Bingen (1098-1179).

Las cosas en orden

La desorganización cervecera finaliza en 1516 cuando el Duque Guillermo IV de Baviera (1493-1550) redactó una ley para fijar qué ingredientes debía tener una cerveza para merecer ser llamada por ese nombre. Esta legislación fue conocida como *Ley de Pureza*, y establecía que para fabricar cerveza debían utilizarse solamente agua, malta de cebada y lúpulo. Esta ley fue abolida recién en 1987, permitiéndose otros agregados como malta de trigo y caña de azúcar, pero aquellas cervezas que aun cumplen la Ley de Pureza reciben una protección especial por tratarse de alimentos tradicionales.

Tómese otra copa, otra copa de vino

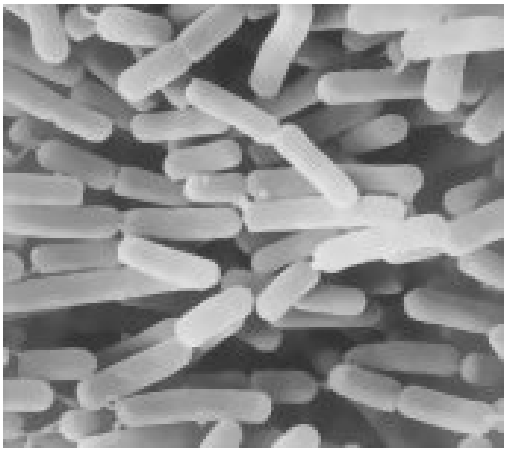
Siguiendo con las bebidas alcohólicas, ahora vamos a hablar de una de las más antiguas y famosas de la humanidad, el vino, que ha servido de inspiración tanto a poetas como a guerreros, y que, como no podía ser de otra manera, también es fabricada por microorganismos. ¿Otra vez la levadura? Sí, otra vez. Y como lo hemos venido haciendo hasta ahora, comenzaremos por explicar el procedimiento actual para su elaboración, y después pasaremos a contar su historia.

El proceso para obtener un buen vino es algo más simple que el de la cerveza. Para empezar, no hay que agregar agua ni fabricar malta para un fácil acceso de las levaduras a los azúcares. La uva tiene suficiente agua, glucosa y fructosa en su interior como para alimentar a los microorganismos. Por otro lado, tampoco hay que añadir levaduras, ya que estas viven cómodamente en el hollejo o piel de las uvas. ¿Vieron ese polvillo blanquecino que se junta en la superficie de las uvas sin lavar? Bueno, esas son las levaduras. Luego que las uvas son cosechadas se procede directamente a triturarlas, lo cual hace que los pequeños hongos obtengan un rápido y fácil acceso a los azúcares del mosto resultante, permitiéndoles comenzar con la fabricación de alcohol de manera inmediata.

Para la mayor parte de los vinos, el paso siguiente a la fermentación por parte de las levaduras es el *trasiego*, que es el pasaje del mosto fermentado a otro recipiente para separarlo de los sedimentos sólidos que se van acumulando en el fondo -que sería algo así como la borra del vino-. Posteriormente se realiza la *clarificación*, agregando agentes vegetales o animales que arrastran aquellas

partículas que puedan haber quedado flotando y que opacarían al vino. El *clarificante* más común, sobre todo para vinos tintos, es la albúmina, una proteína que abunda en la clara de huevo. Unas cuantas claras casi a punto nieve se le agregan al vino, y luego de unos días la albúmina se encarga de atrapar a aquellas partículas diminutas que pudieran quedar flotando en el vino. Luego se trasiega por última vez, y finalmente llega la etapa de *crianza*, que se realiza generalmente en vasijas de roble o de acero, y que depende del tipo de vino y del tiempo que se desee añejar al mismo.

En algunos vinos, sobre todo los tintos, además se lleva a cabo lo que se conoce como fermentación secundaria o *maloláctica*. El *ácido málico* es uno de los tres ácidos orgánicos que posee la uva -los otros son el *tartárico* y el *cítrico*-. Terminada la fermentación alcohólica llevada a cabo por las levaduras, comienzan a actuar unas bacterias del tipo *Lactobacillus*, que transforman ese ácido málico en *ácido láctico*, un producto de constitución suave y agradable que le aporta al vino mejores aromas, sabores y estabilidad.



Bacterias *Lactobacillus acidophilus*

Para terminar de describir a las células que participan en la producción de la bebida que nos compete en esta sección, hablaremos de un tipo de vinos muy especiales que necesitan de un hongo diferente a la levadura. Es diferente porque es del tipo *mohoso*, como aquellos que forman esa "pelusita" azul-verdosa en las naranjas dejadas mucho tiempo a la intemperie. Este moho es de un tipo muy particular llamado *Botrytis cinerea*, o “racimo de uvas ceniciento”, llamado así por el color gris que toman las uvas cuando están cubiertas de sus esporas. Este hongo infecta algunos tipos particulares de uvas, como las *Riesling* típicas de Alemania, produciendo en condiciones apropiadas de humedad seguidas por sequedad lo que se conoce como la *podredumbre noble*. Durante este proceso de nombre tan original, el hongo elimina el agua de las uvas -quedan casi como pasas-, haciendo que los azúcares de su interior se concentren, dando finalmente un producto mucho más dulce. Los vinos de este tipo más famosos mundialmente son el *Sauternes* del sur de Francia, y el *Tokaji* de la región del mismo nombre en Hungría.

Ahora bien, vamos a conocer la rica historia de esta bebida tan popular, la cual está plagada de anécdotas, así que trataremos de ser breves, ya que después de todo este es un libro sobre la célula y no sobre el vino.

Según datos arqueológicos, la producción de vino se remonta unos ocho mil años atrás, en regiones que actualmente pertenecen a Irán y al sur de la ex-Unión Soviética, mientras que los primeros indicios de la "domesticación" de las uvas por el hombre llegan a unos cinco mil años de antigüedad, en el Medio

Oriente, Sumeria y Egipto, lo cual le daría una leve ventaja de quinientos años a la cerveza como la bebida más antigua.

En Egipto el vino jugó un importante papel en diversos tipos de ceremonias, algo que al día de hoy se mantiene vigente en diversas culturas, ya sea desde el brindis diario en la mesa familiar, como en la celebración de la misa Cristiana. En los primeros tiempos de la civilización egipcia el vino estuvo rodeado de mucha superstición debido a su semejanza con la sangre. Los antiguos faraones no bebían vino por creer que era la sangre de aquellos que habían batallado contra los dioses, pensando inclusive que la locura que producía una borrachera se debía a que los bebedores habían sido invadidos por la sangre de sus antepasados. Como se habrán dado cuenta, el concepto vino-sangre es mucho más antiguo de lo que nos podíamos imaginar, aunque los significados de este paralelismo no han sido siempre tan fatídicos como lo eran para los egipcios antiguos.

Los simuladores

En Argentina existe un tipo de vinos que imitan a los famosos –y caros- blancos dulces “noblemente podridos”. Estos “impostores” son conocidos con el nombre de *cosecha tardía*, pero para producirlos no hay otro hongo de por medio que no sea la levadura. Este tipo de vinos se obtienen mediante la utilización de uvas pasadas de maduración, lo que permite que se concentren mucho más sus azúcares, dándoles ese dulzor extra que los acerca aunque sea un poco al sabor de sus parientes europeos.

La primera civilización que comenzó a extender la producción del vino fue la griega, a través de la exportación de esta bebida por todo el Mar Mediterráneo. Los griegos transportaban el vino en unas vasijas de cerámica llamadas *ánforas*, las cuales se han encontrado en yacimientos arqueológicos en lo que actualmente son grandes regiones vitivinícolas, como Italia, Sicilia, España y el sur de Francia. Además, fueron los griegos los que introdujeron en esas regiones las parras de *Vitis vinifera*, que es la vid que dio origen a casi todas las variedades de uva que existen en la actualidad.

Era tal la importancia de esta bebida por aquellas épocas, que los mismos griegos adoraban a un dios del vino, Dionisio, que además era la divinidad del placer y la festividad. Los romanos también adoraban al mismo dios, solamente que con otro nombre, Baco. En esas épocas se llevaban a cabo muchas fiestas en honor a Baco, en donde se bebía sin medida, y con el nombre de esas fiestas actualmente designamos a las celebraciones en las que se come y se bebe desenfrenadamente cometiendo todo tipo de excesos, o sea una *bacanal*. Cabe aclarar que Dionisio o Baco eran dioses del vino "sin mezclar". ¿Qué quiere decir esto? Que generalmente el vino se solía tomar diluido en agua y no puro, excepto en ocasiones especiales, como las bacanales. Los soldados, o más bien los generales, festejaban con vino puro sus conquistas, pero cuando tenían que planear una estrategia diluían el vino con cuatro a cinco partes de agua para poder mantener la lucidez.

No todas las reuniones de la antigüedad en donde hubiera vino tenían que ser bacanales. Existía otro tipo de celebraciones denominadas *symposium*, que viene del griego y quiere decir "reunión para beber juntos". Actualmente se le da ese nombre, *simposio*, a conferencias de tipo académico, lo cual no quiere decir que por ser algo serio no haya alcohol implicado, si no no le hubieran dado ese nombre. La diferencia es que en la antigüedad el vino se bebía durante y ahora se bebe después. O al menos eso es lo que dicen los que asisten a los simposios.

La tecnología para producir vino mejoró considerablemente gracias a los romanos. Mucho del desarrollo de las variedades de uva y técnicas de cultivo, el uso de barriles y botellas para almacenamiento, y la utilización de la prensa para producir el mosto se lo debemos a ellos.

Luego de la caída del Imperio Romano, allá por el quinientos después de Cristo, Europa entró en un período oscuro de invasiones y confusión social, excepto para la iglesia católica que era una de las pocas estructuras sociales estables de la época. Y fue gracias a la iglesia que el cultivo de las vides y la tecnología de la producción de vino pudieron ser preservados durante este período, sobre todo por la importancia del vino para esta religión, ya que era utilizado para celebrar la misa.

Espumante celestial

Los monjes benedictinos fueron de los más destacados en la producción de vinos tras la caída del Imperio Romano, poseyendo importantes viñedos en las regiones francesas de Champaña, Borgoña y Burdeos, y en los territorios alemanes del Distrito del Rhin y Franconia. Fue justamente un monje benedictino el que revolucionó la industria de los vinos espumantes -como el champaña-, no solamente por la metodología para producirlos, sino también por la creación de un modelo de botella que aun hoy se emplea, y por la utilización del tapón de corcho. En su honor todavía existe una bebida con su nombre: Dom Perignon (1638-1715).

Composición tema: La Vaca

¿La vaca es un microorganismo que produce leche? No, el título no se refiere a eso. Si bien la vaca al igual que nosotros está compuesta por muchas células, uno de sus productos más utilizados, la leche, es el origen de algunos subproductos que necesitan de microorganismos para ser fabricados, como el queso y el yogur. Del primero de ellos nos vamos a ocupar en esta sección.

Para hacer queso se necesita básicamente hacer un *cuajado*, que implica separar la parte sólida (cuajada) de la líquida (suero) de la leche. Para realizar este proceso se necesita un *cuajo* o fermento, que en este caso no son levaduras, sino una de las tan mentadas enzimas de las que hablábamos antes. En este caso particular es la *quimosina*, cuya función es separar la *caseína* -que representa el 80% de las proteínas de la leche- de la fase líquida, compuesta básicamente por agua y otras proteínas. La caseína, junto con el calcio de la leche, es necesaria

para producir una especie de gel en el que quedarán atrapados la mayoría de los componentes sólidos de la leche para formar el queso.

La quimosina está presente en uno de los estómagos de los mamíferos rumiantes -vaca, oveja, cabra, búfala, camella-, y actualmente se puede obtener por síntesis química en forma de pastillas. Pero antiguamente se sumergía el estómago de terneros lactantes en salmuera, y se dejaba reposar para que la quimosina difundiera al líquido, el cual se utilizaba luego para cuajar la leche.

¿Y donde están las células en este procedimiento? Bien, recién aparecen ahora. Una parte importante del cuajado es la *acidificación*, que ayuda a contraer la cuajada para que vaya expulsando el suero más eficientemente. Esta acidificación se da a través de bacterias *acidolácticas*, de las que hemos hablado en la descripción de la fabricación del vino. Estas bacterias, del tipo *Lactobacillus* o *Streptococcus*, transforman los azúcares de la leche en ácido láctico, lo cual no solo ayuda a la contracción de la cuajada sino que también contribuye a su futuro sabor mediante el proceso de *añejamiento*. En el caso de muchos quesos suizos, como el *Emmental*, se utiliza la bacteria *Propionibacter shermani*, que produce las burbujas de dióxido de carbono que le dan a esos quesos sus característicos agujeros (¿se acuerdan de los agujeros del pan?).

A partir de este paso comienzan las diferencias entre los quesos. Los más blandos solo deben ser deshidratados, salados y empaquetados, otros más duros son calentados a 35º C para acelerar la deshidratación y conseguir sabores más sutiles. Otros se estiran y sumergen en agua caliente para darle una textura fibrosa, como la *Mozzarella*. En quesos como el *Gouda* y el *Emmental*, se baja la acidez mediante el constante batido y lavado con agua de la cuajada.

Muchos quesos tienen añejamiento y *curado*. Éste último método generalmente modifica el sabor final. Entre los curados más típicos se encuentra el ahumado, el salado, el agregado de especias e incluso de vino al queso. Por último tenemos los famosos quesos verdes y azules, que se logran almacenando los quesos en lugares de alta humedad -cercana al 90%-, como por ejemplo cuevas y sótanos dedicados a tal fin. Esta condición permite la proliferación de hongos tipo moho -como el de las uvas de los vinos *Sauternes* y *Tokaji*, que mencionáramos anteriormente-, que generalmente se introducen por medio de la dispersión de esporas del tipo *Penicillium* a través de perforaciones que se realizan en el queso. Las especies de estos hongos reciben el nombre del queso en el que se reproducen, como por ejemplo el *Penicillium camemberti* -en la corteza del queso *Camembert*- y el *Penicillium roqueforti* -en el interior del queso *Roquefort*-. ¿Les suena el nombre *Penicillium*? Sí, es verdad, se parece a

Hay un gusano en mi queso

En Cerdeña, una isla del Mediterráneo que pertenece a Italia, existe una variedad de queso llamada *Casu Marzu*, al cual se le agregan larvas de la mosca del queso. Si bien las larvas se pueden comer, la venta de este queso está prohibida por las autoridades sanitarias italianas, lo que lleva a que se consuma en forma clandestina. Este debe ser uno de los pocos casos en donde se agregan organismos pluricelulares al queso.

Penicilina, uno de los primeros antibióticos descubiertos por el hombre. Justamente, la Penicilina es producida por hongos del grupo a los que pertenecen aquellos que se utilizan para la fabricación de los quesos verdes y azules. Ya entraremos más en detalle sobre este tema en la última parte de este capítulo.

¿Hacemos un poco de historia? Los orígenes de la elaboración del queso no están del todo claros, pero se ubicarían entre el año ocho mil antes de Cristo, cuando se domestica la oveja, y el tres mil antes de Cristo. Probablemente se haya originado en Asia Central o Medio Oriente, y luego de allí se extendió a Europa.

Existe una leyenda que dice que el queso fue descubierto por un mercader árabe que llevaba leche a través del desierto en un recipiente fabricado a partir de estómago de cordero. Cuando quiso beberla, descubrió que estaba coagulada y fermentada, debido al cuajo (quimosina) del estómago de cordero en conjunción con el calor del desierto. Si bien esta historia es difícil de comprobar, no deja de tener cierta lógica, ya que la mayoría de los alimentos de fabricación humana que hemos visto hasta ahora se han descubierto por casualidad o por accidente.

¿A qué no saben en donde se han encontrado las pruebas arqueológicas más antiguas de la fabricación del queso que datan de hace unos cuatro mil años? Por supuesto, en el Antiguo Egipto, una civilización que se preocupó bastante por documentar todos los acontecimientos de su sociedad para la posteridad. Se cree que esos quesos eran mucho más fuertes y salados, tipo el queso feta que tiene su origen en Grecia.

En Europa, con un clima más frío, no era necesario agregar tanta cantidad de sal para conservar los quesos, lo que permitió el desarrollo de bacterias y mohos que les dan los sabores característicos a muchos de los quesos que conocemos en la actualidad.

Como ocurrió con el vino, los antiguos romanos perfeccionaron las técnicas de manufactura del queso, expandiendo este conocimiento al resto de sus colonias europeas. Cada región desarrolló una gran variedad de quesos, llegando inclusive a que actualmente Francia e Italia posean unos cuatrocientos tipos de queso diferentes cada uno.

Con la caída de Roma, la artesanía del queso no progresó demasiado, al punto que muchos de los que conocemos actualmente aparecieron en la Baja Edad Media -Siglos XI al XV d.C.- o aun más tarde. Por ejemplo, el *Cheddar* británico data del año 1500, el *Parmesano* italiano es de 1597, el *Gouda* holandés de 1697 y el *Camembert* francés nació en 1791.

Como agua para chocolate

Bien, ¿todos los alimentos y bebidas de producción humana se crearon en Asia Central, Medio Oriente o Europa? Convengamos que las primeras civilizaciones nacieron en esas regiones, pero en nuestro continente no se quedaron atrás y, por ejemplo, la fermentación alcohólica ya se conocía para

hacer bebidas espirituosas, como la *chicha*, que se produce a través de la fermentación de granos de maíz.

Pero existe otro alimento que nació en América, y del cual el resto del mundo es fanático, especialmente los europeos: el chocolate.

¿Para hacer chocolate también se usan microorganismos? Efectivamente, no existiría el chocolate tal cual lo conocemos si no hubiera una fermentación previa.

El chocolate proviene de los granos o semillas -amargas pero cubiertas por una pulpa dulce- del árbol de cacao, cuyo nombre científico es *Theobroma cacao*. Los indígenas latinoamericanos consideraban a esta semilla de tanta importancia, que el nombre del árbol en griego -*Theobroma*- quiere decir “alimento de los dioses”, tal como era conocido por aquellos que habitaban la región centroamericana.

Para producir el chocolate que todos conocemos, se abren las vainas que contienen la pulpa y las semillas, se las apila, se las cubre de hojas de banano y se almacenan en una caja cerrada. En un período de cinco a siete días la pulpa empieza a fermentar producto de los microorganismos que allí existen, y se convierte en un caldo turbio que comienza a impregnar con su sabor a las semillas. En las primeras veinticuatro horas comienza la germinación –como con la cebada de la cerveza-, y las enzimas que se activan comienzan a separar la sacarosa de las semillas en glucosa más fructosa -una especie de "malteado" del cacao-. A partir de allí, los microorganismos presentes comienzan a utilizar esos azúcares, haciendo que esta actividad fermentadora aumente la temperatura dentro de la caja, llegando hasta unos cuarenta a cincuenta grados centígrados, lo cual detiene la germinación de manera natural y mata a algunos de los microorganismos presentes.

En la fermentación se da una sucesión de procesos que comienza con las levaduras que producen etanol a partir de azúcares, tal cual lo hacen siempre en condiciones de poco oxígeno. El aumento de etanol y de la temperatura hace que las levaduras dejen lugar a las bacterias lácticas, *Lactobacillus* y *Streptococcus*, y bacterias *ácido acéticas*, del tipo *Acetobacter*, que ante un medio más ácido y más aireado -lo que se logra removiendo la mezcla de pulpa y semillas de manera manual- comienzan a desarrollarse y a producir *ácido acético*, pero en pequeñas cantidades, sino el chocolate tendría un gusto avinagrado.

A los cinco días se lleva a cabo el secado, ya que si se dejara seguir el proceso por más tiempo los microorganismos comenzarían a invadir las semillas una vez consumida la pulpa y se pudriría todo. Finalmente, estas semillas se envasan y envían a las fábricas de chocolate, donde son tostadas a ciento veintiún grados centígrados para librarse definitivamente de aquellos organismos indeseables que pudieran arruinar el sabor.

Posteriormente se procede a quitarle la cáscara a las semillas y a triturarlas hasta que forman una pasta homogénea. Esta trituración con posterior batido se realiza a altas temperaturas, unos sesenta a ochenta grados centígrados, lo que permite que las grasas existentes se licuen dando lugar a una suspensión de

sólidos en manteca de cacao. Esta suspensión se pasa por prensas hidráulicas para luego filtrarla, obteniendo de esta manera dos tipos de bloques separados, por un lado los de manteca de cacao y por el otro los de pasta de cacao, estos últimos con un porcentaje bastante reducido en grasas. Ambos bloques son luego combinados de varias formas junto con azúcar para producir las diferentes variedades de chocolate comestible que consumimos. La manteca de cacao es la que le brinda su brillo característico al chocolate, siendo además utilizada en cosmética como base de lápices de labios, debido a que puede fundirse con la temperatura de la piel.

Ahora sí, vamos a la historia. Se cree que los primeros que utilizaron el chocolate fueron los olmecas, que vivieron en el actual sudeste mexicano hace aproximadamente unos tres mil años. Aparentemente la palabra olmeca *kakawa* es la que le dio el nombre actual al cacao.

De cualquier manera, el chocolate se hizo famoso gracias a los mayas, que habitaron en México unos mil años después de los olmecas, entre el 250 y el 900 d.C. Los mayas utilizaban las semillas de cacao como moneda, e inclusive preparaban una bebida a partir de estas semillas que se saboreaba en rituales religiosos o ceremonias matrimoniales. El procedimiento era similar al que se utiliza actualmente, es decir fermentación, secado, tostado y triturado hasta lograr una pasta, que en el caso de los mayas se mezclaba con agua caliente y especias, chile, vainilla, o miel. Muchas veces pasaban esta bebida de un recipiente a otro para formar una espuma que era una de las mejores partes del chocolate.

Así como los sumerios con la cerveza y los griegos y romanos con el vino, los mayas tenían también un dios para su bebida favorita. Este dios era llamado *Ek Chuah*, que además de ser la divinidad del cacao, también era dios de la guerra y la destrucción.

Posteriormente, los mayas fueron conquistados por los aztecas (1200-1500 d.C.), quienes continuaron con las tradiciones chocolateras de sus conquistados. Cuenta una leyenda que el dios azteca *Quetzalcoatl* le dio el cacao al hombre, hecho por el cual fue expulsado del paraíso, ya que se suponía que solamente los dioses podían disfrutar de tan exclusiva bebida.

Perdido en la traducción

Se cree que la palabra chocolate proviene del idioma *nahuatl*, el que hablaban los aztecas, por combinación de las palabras *xococ* o “agrio”, que básicamente describe el sabor de la bebida que ellos preparaban con las semillas de cacao, y *atl* o “agua”. Cabe aclarar que la "x" en ese idioma se pronuncia como una "sh", por lo que la palabra sonaría algo así como *shococatl*, que probablemente es lo que los españoles oyeron y posteriormente tradujeron como el nombre que utilizamos hoy en día en la mayoría de los idiomas del mundo: *chocolate*.

Luego vino la conquista española por parte de Hernán Cortés (1485-1547), que si bien no era fanático de esta bebida por su sabor muy amargo, se dio cuenta de que luego de beberla se podía viajar toda una jornada sin cansarse y sin necesidad de alimentarse. Los beneficios calóricos y psicoactivos -activadores del

sistema nervioso- del chocolate ya empezaban a notarse y a expandirse hacia el resto del mundo.

A partir de allí el cacao se comenzó a comercializar en Europa, y se le empezaron a realizar diferentes agregados para mejorar su sabor, siempre como bebida. Entre los primeros ingredientes añadidos al chocolate estuvieron el azúcar, la leche y la canela. Al principio se lo utilizaba como medicina -¡se vendía en farmacias!-, prescribiéndose para bajar la fiebre, calmar el dolor y ayudar en la digestión. Pero finalmente se empezó a hacer popular como bebida social, sobre todo por los beneficios que aportaba y que fueran notados por Cortés, como por ejemplo cuando la Iglesia adoptó al chocolate como un suplemento nutritivo para las festividades de ayuno.

Tuvieron que pasar más de tres siglos de la llegada del cacao a Europa para poder probar la primera barrita de chocolate. Gracias a la prensa hidráulica inventada en 1828 por el holandés Coenraad Van Houten (1801-1887), que permitió separar la pasta de la manteca de cacao, y a que en 1847 el inglés Joseph Fry (1795-1879) mezcló pasta de cacao y azúcar con manteca de cacao en lugar de agua caliente, hoy podemos disfrutar del chocolate sólido, que ha sido modificado y mejorado sutilmente por los expertos en el tema, los holandeses, los suizos y los italianos.

Microorganismos que matan microorganismos

Ahora bien, no todos los microorganismos son asesinos o causantes de enfermedades, ni tampoco todos ellos sirven para fabricar comidas o bebidas. Existen algunos que justamente nos han ayudado a evitar que el primer grupo, el de los asesinos, no nos haya hecho desaparecer de la faz de la Tierra. Si bien esta última frase parecería un poco exagerada ya que la humanidad siguió su camino a pesar de no conocer a esos microorganismos beneficiosos, fue a partir de su descubrimiento que la medicina -y en consecuencia la calidad de vida de la humanidad- progresó a pasos agigantados. ¿Y a quiénes nos referimos? A los productores de *antibióticos*.

La palabra antibiótico proviene del griego y quiere decir “en contra de la vida”. ¿Y por qué se les puso ese nombre? Porque los antibióticos son sustancias que matan a seres vivos. Específicamente, son compuestos químicos producidos por organismos vivos o de origen sintético que en bajas concentraciones matan –*bactericidas*- o impiden el crecimiento –*bacteriostáticos*- de ciertas clases de microorganismos sensibles, siendo generalmente inofensivos para el organismo que ha sido infectado, ya sea este una planta, un animal o un ser humano. Decimos “generalmente” porque a veces se producen reacciones adversas, como es el caso de las alergias a los antibióticos.

El primero en llamar a estas sustancias por su nuevo nombre fue el científico norteamericano Selman Waksman (1888-1973) en 1942, cuando

describió las "influencias antibióticas" de ciertas sustancias que impedían el crecimiento de microorganismos y que eran derivadas de otros organismos vivos.

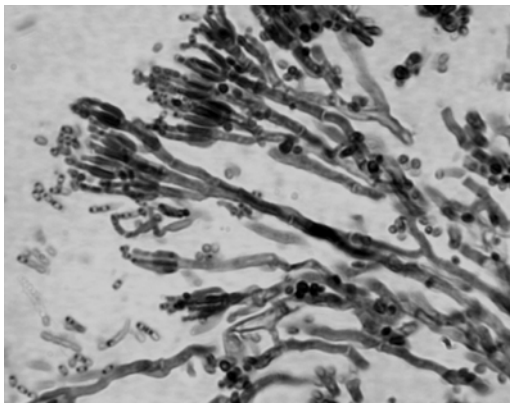
Existen otros agentes *antimicrobianos* que no son catalogados como antibióticos, como es el caso del jugo gástrico producido en nuestro estómago, algunas sustancias sintéticas como las sulfamidas, y ciertos productos naturales, entre los cuales hemos mencionado anteriormente a la flor del lúpulo, que sirve para evitar la contaminación del mosto que se utiliza en la producción de la cerveza. Incluso muy altas concentraciones de azúcares, que impiden el crecimiento de un gran número de microorganismos, fueron utilizadas en la antigüedad, por ejemplo mediante la aplicación de miel o azúcar en las heridas de batalla para evitar una infección. Otro agente antimicrobiano histórico fue el *Salvarsán* o "bala mágica", del bacteriólogo polaco-alemán Paul Ehrlich (1854-1915).

Dulces heridas

¿Cómo actúan la miel y el azúcar contra las bacterias? En el caso de la miel, se cree que su alto contenido de *peróxido de hidrógeno* -el agua oxigenada que todos conocemos- y su alta acidez son los que matan a la mayoría de los microorganismos contaminantes. El azúcar por otro lado, absorbe los líquidos de la herida, creando un ambiente desfavorable para las bacterias pero atractivo para los *macrófagos*, que son un tipo de glóbulos blancos de la sangre que se encargan de "limpiar" las heridas, alimentándose de todo lo que no debería estar allí y que pudiera representar algún peligro de infección.

Algunos profesionales de la salud consideran que este tipo de tratamientos, sobre si se utiliza azúcar, pueden complicar aún más las infecciones. De cualquier manera, este método es muy utilizado en la medicina veterinaria sin ningún tipo de complicaciones. Por las dudas, no lo intente en su casa, o ante cualquier duda consulte a su médico.

A fines del siglo XIX la sífilis, una enfermedad de transmisión sexual producida por la bacteria *Treponema pallidum*, producía estragos en Europa, en donde se cree que la padecía cerca del diez por ciento de la población. Ehrlich comenzó a probar diferentes compuestos que fueran capaces de destruir a la bacteria sin producir daños al huésped -que en sus ensayos eran conejos infectados con *Treponema*-. En su intento sexcentésimo sexto logró que los conejos se recuperaran de la infección, y como el nombre de la sustancia utilizada era casi impronunciable (*dioxiaminodoarsenobenzol*), fue bautizado de diferentes maneras: compuesto 606 -por el número de intentos-, *Salvarsán*, que fue el nombre comercial derivado de "salvar con arsénico" –ya que este compuesto era un derivado de ese elemento químico-, y "bala mágica", debido a que mataba específicamente a la bacteria sin dañar a la persona infectada, si bien esto último era discutible, ya que el arsénico no es tan beneficioso para la salud que digamos. De cualquier manera, este método quimioterapéutico fue un éxito total y la única cura para la sífilis hasta el descubrimiento del primer antibiótico, la *penicilina*, casi tres décadas más tarde. Pero eso lo veremos con más detalle en un par de páginas.



Hongo del tipo *Penicillium*

Con respecto a la producción de antibióticos no hay mucho que decir, o por lo menos no es tan compleja de explicar como la fabricación de la cerveza o del vino. Los microorganismos productores de antibióticos, la mayoría de ellos hongos del tipo moho -como el *Penicillium* que mencionamos en la sección de los quesos- se hacen crecer en grandes tanques fermentadores con oxígeno y un medio de cultivo rico en nutrientes -como macerado de maíz-, a una temperatura de veinticinco a veintiocho grados centígrados. En esas condiciones los hongos crecen felices y contentos produciendo varias sustancias, entre ellas los antibióticos, que por lo general son expulsados al medio externo. Luego, se elimina el hongo por filtración y se extrae el antibiótico mediante una serie de procesos, que incluye el uso de solventes especiales, su posterior evaporación, filtración en carbón activado, y otros métodos de separación química más complejos. Obviamente todo esto depende del organismo productor y del tipo de antibiótico, ya que no existe un procedimiento general para todos ellos. Por otro lado, tenemos también los antibióticos sintéticos, que por lo general provienen de modificaciones químicas de los producidos por los microorganismos. El hecho que muchas bacterias generen resistencia a algunos antibióticos -es decir que mutan de forma de no verse afectadas por dichas sustancias-, ha establecido la necesidad de crear nuevos antibióticos a un ritmo frenético, y una gran mayoría de los productos más nuevos del mercado son de origen sintético.

Entre los antibióticos más conocidos y antiguos tenemos las *penicilinas*, que fueron descubiertas en 1929, y cuyo origen son el *Penicillium notatum* y el *Penicillium chrysogenum*; la e*streptomicina* (*Streptomyces grieseus*, 1944); el *cloramfenicol* (*Streptomyces venezuelae*, 1948) y las *tetraciclinas* (*Streptomyces alboniger*, 1953).

¿Y cómo actúan los antibióticos? De varias maneras. Algunos interfieren con la pared celular de algunas bacterias -la cual sería una especie de cubierta protectora por sobre la membrana que las rodea-, haciendo que esta pared se destruya y haga estallar al microorganismo; otros le impiden a las bacterias aumentar su número al bloquear su división celular -las bacterias se reproducen de una manera similar a las levaduras-. Un gran número de antibióticos perturban directamente la membrana bacteriana produciendo un efecto similar a los que afectan a la pared. También existen otros grupos de antibióticos que afectan directamente la maquinaria interna de los microorganismos a los que atacan, lo cual hace que mueran porque no pueden aprovechar los nutrientes del medio que los rodea –literalmente “se mueren de hambre”-, o hacen que directamente se detengan como un reloj que se queda sin cuerda, lo que implica que no puedan reproducirse más, dejando así de afectar al huésped. Este último grupo sería al

que se lo definió antes como *bacteriostáticos* -la bacteria permanece "sin cambios"-, y el resto serían los *bactericidas* -que matan o destruyen a las bacterias-.

Como para no perder la costumbre, hagamos un poco de historia. Si bien el primer antibiótico "oficial" fue la Penicilina en el año 1929, se cree que los chinos ya los utilizaban hace unos dos mil quinientos años. Obviamente no usaban todavía el antibiótico puro, sino que cuando cuajaban la soja -para fabricar queso de soja o *tofu*- se formaba un moho en su superficie, y se dieron cuenta, probablemente por accidente, que al aplicarlo a cierto tipo de infecciones lograban sanarlas. Algo similar ocurrió con otras culturas antiguas, como al sur de Egipto, en la región de Sudán, y un poco más cercano durante el medioevo, cuando se trataban infecciones con cuajo de queso contaminado con moho.

En 1877, el científico francés Louis Pasteur (1822-1895), del cual hablaremos más de una vez en este libro, definió el principio de *antibiosis*, que es algo así como la acción de un microorganismo sobre otro. En su caso había observado que si inyectaba en animales una bacteria que se alimentaba de sustancias en descomposición, estos animales no podían ser infectados por la bacteria causante del ántrax, el Bacillus anthrasis. Más tarde se supo que una sustancia producida por la primera bacteria, la carroñera, inhibía el crecimiento de la segunda.

Finalmente ocurrió uno de los accidentes más famosos de la historia científica. Corría el año 1929, y mientras el médico británico Alexander Fleming (1881-1955) cultivaba bacterias de la especie *Staphylococcus aureus*, uno de sus cultivos se contaminó con hongos. Fleming observó que el medio de cultivo alrededor del hongo estaba libre de bacterias, llegando a la conclusión que el hongo estaba expulsando una sustancia al medio que inhibía el crecimiento del *Staphylococcus*. Como identificó al hongo con el nombre *Penicillium notatum*, llamó al producto que secretaba *penicilina*.

Pionero ignorado

En 1897, otro científico francés, Ernest Duchesne (1874-1912), descubrió las propiedades antibióticas -si bien ese término se aplicaría cuarenta y cinco años después- de los hongos del tipo *Penicillium*, pero lamentablemente su trabajo no obtuvo la relevancia que merecía, llevando a más de treinta años de atraso en el tratamiento de las infecciones.

Recién unos diez años después se pudo purificar la penicilina y aplicar en los primeros seres humanos. Quienes fueron capaces de hacerlo, el alemán Ernst Chain (1906-1979) y el australiano Howard Walter Florey (1898-1968), recibieron junto con Fleming el Premio Nobel de Medicina en 1945.

Al mismo tiempo que se aislaba en 1939 el antibiótico *gramicidina*, que no procede de un hongo sino de la bacteria *Bacillus brevis*, comenzó la Segunda Guerra Mundial, que de alguna manera aceleró la investigación para la producción y purificación de los antibióticos, que se hicieron de uso generalizado en 1943. En este caso bien podríamos aplicar la frase "no hay mal que por bien no venga".

CAPÍTULO 2

La era del microscopio: ¡ahora no se nos van a escapar!

En el capítulo anterior nos centramos más que nada en los organismos que están conformados por una sola célula, y justamente fueron ellos los primeros en ser observados por el hombre. Fue también gracias a ellos, y sobre todo a los métodos y equipamientos que se desarrollaron para verlos, que nos dimos cuenta de que nuestros propios cuerpos eran un conjunto de células mucho más complejas de lo que nos imaginábamos.

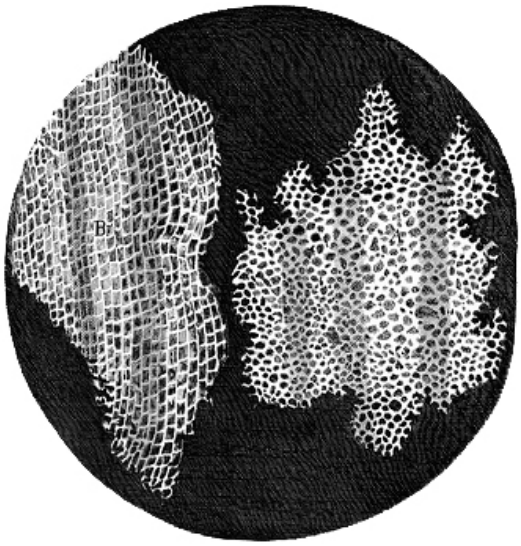
Esta sección del libro va a ser un repaso de la historia de aquellos hombres que con sus creaciones y descubrimientos abrieron un campo ilimitado de conocimientos con relación al sorprendente mundo de las células.

El ojo que todo lo ve: la palabra célula aparece en nuestro vocabulario

Como dijimos al principio, las células son microscópicas, por lo tanto es imposible verlas a simple vista. Para observarlas hizo falta la invención de un aparato para magnificar varias veces la imagen de estas estructuras minúsculas. Ese aparato, como ya se imaginarán, es el microscopio, el "instrumento para observar cosas pequeñas".

Pero una cosa es inventar el aparato y otra darle uso. Sabemos que la utilización de lentes de vidrio para aumentar la imagen de los objetos deriva de la época del Imperio Romano, allá por el año cien después de Cristo. Es más, la palabra lente deriva del latín (el idioma del Imperio) *lentil*, que quiere decir "lenteja", por la semajanza entre la forma de las lentes y la de la semilla que forma parte de nuestros guisos invernales.

No fue hasta finales del siglo XVI, cerca del año 1590, que un par de fabricantes holandeses de anteojos, Hans Janssen y su hijo Zaccharias (1585-1632), decidieron colocar dos lentes en los extremos de un tubo, y observaron que este nuevo aparato podía magnificar objetos mucho más de diez veces, que era el límite de las mejores lentes individuales de esa época. A esta invención se la considera el primer microscopio compuesto, es decir que posee dos lentes o más.



Dibujo de las primeras células observadas por Robert Hook

Cuarenta años después, en 1665, el naturalista inglés Robert Hooke (1635-

1703) se encontraba observando en un microscopio la estructura de una lámina de corcho - la corteza del árbol llamado alcornoque-, y notó que estaba formada por unas cavidades que le recordaban las celdas de un panal de abejas o las cámaras en donde se recluyen los monjes, también llamadas celdas (esto depende de quién cuente la historia, como siempre). Entonces acuñó la palabra "celda", que en inglés es *cell*, para describir a esos compartimientos. Como dijimos al principio del primer capítulo, el idioma español adoptó una palabra del latín similar a la del inglés, *cella*, que en realidad quiere decir "hueco" (aunque ya vamos a ver que las células de huecas no tienen nada), para finalmente utilizar su diminutivo *cellula*, que con un pequeño cambio ortográfico quedó como el nombre con el que conocemos actualmente a estas unidades fundamentales de la vida.

A todo esto, lo único para lo cual habían servido los microscopios era para ver células muertas, tal como las estructuras observadas por Hooke en el corcho. Entonces apareció en escena el comerciante y científico holandés Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), que dedicó gran parte de su vida a la fabricación de sus propias lentes y al perfeccionamiento del microscopio, aunque en su caso se trataba de instrumentos no compuestos, ya que poseían una sola lente. Pero con eso le fue más que suficiente para ser el primer hombre en observar microorganismos vivos.

Si bien van Leeuwenhoek poseía muy poca preparación científica, era un experto en el tallado de lentes, algunas de las cuales no llegaban a medir un milímetro de diámetro. De allí que algunos de sus microscopios -se dice que fabricó más de quinientos-, fueran muy pequeños, llegando algunos a medir no más de ocho centímetros de largo. Con algunos de estos instrumentos llegó a la friolera cifra de unos doscientos setenta y cinco aumentos, lo que le permitió observar por primera vez bacterias del agua y del sarro de sus propios dientes, protozoos (a los cuales van Leeuwenhoek llamó animáculos), glóbulos rojos de la sangre y espermatozoides del semen humano.

No solo miraba al cielo

El famoso científico italiano Galileo Galilei (1564-1642), allá por el año 1609, comenzó a realizar sus experimentos con lentes y tubos, tal como lo hicieron los Janssen. Gracias a ello desarrolló no solo los primeros telescopios -con los que logró ver entre otras cosas los anillos de Saturno y los satélites de Júpiter-, sino que también perfeccionó el microscopio compuesto, al que llamó *occhiolino*, algo así como “guiñar el ojo” en italiano, ya que era la única forma de ver a través del dispositivo. Recién en el año 1625, el científico alemán Giovanni Faber de Bamberg (1574 - 1629), colega y amigo de Galileo, le otorga a este instrumento el nombre por el cual todos lo conocemos hoy: microscopio.

Pero el afamado microscopista holandés no solo trabajó con organismos unicelulares, sino que también descubrió que tanto las pulgas como los mejillones se desarrollaban a partir de huevos microscópicos, describió el ciclo de vida de varios insectos al poder observar sus huevos y larvas, y estudió tejidos de plantas y de animales.

Desgraciadamente, van Leeuwenhoek era muy celoso de su técnica de pulido del vidrio para hacer lentes, y se llevó ese secreto a la tumba a los noventa y un años de edad, lo cual hizo que la observación microscópica se retrasara por casi cien años.

Nace la "Teoría Celular"

¿Para qué sirve enunciar una teoría? Básicamente para ordenar un poco las cosas. A partir de las observaciones de van Leeuwenhoek y otros que lo siguieron, nació todo un mundo nuevo para la humanidad que estaba compuesto por células. Por lo tanto, y antes que ese mundo creciera demasiado, era necesario formular una serie de leyes o enunciados que definieran qué eran, para qué servían y de dónde provenían las células.

Uno de los primeros en definir la función de las células fue el naturalista alemán Lorenz Oken (1779-1851), quien en 1805 dijo "todos los organismos vivos se originan y consisten de células", algo muy osado para la época, ya que todavía se creía que muchos organismos se originaban por "generación espontánea", algo que veremos un poco más adelante.

En 1833, el naturalista escocés Robert Brown (1773-1858), encontró que en células de orquídeas aparecía una "mancha opaca", a la cual llamó núcleo. Posteriormente descubrió que este núcleo se presentaba también en otro tipo de células de diferentes plantas. Un profesor de botánica, el alemán Matthias Schleiden (1804-1881), encontró fascinantes las observaciones de Brown, y comenzó a explorar más detalladamente a este nuevo componente celular. Schleiden pensaba que el núcleo era la estructura celular más importante, ya que, según él, a partir de éste se originaba el resto de la célula, algo que como veremos más adelante no está tan alejado de la realidad.

Otro alemán amigo de Schleiden, el zoólogo Theodore Schwann, de quien ya hablamos en la sección panadera, notó que existía una gran similitud estructural entre el material extraído de cordones umbilicales humanos y algunas de las células vegetales que su amigo observaba, lo cual le hizo pensar que los tejidos animales también estaban formados por células, algo que confirmó cuando encontró en los tejidos que él mismo estudiaba las famosas "manchas opacas" -los núcleos- de las que hablaba Schleiden. Schwann observó también que esos núcleos se encontraban en intervalos regulares, lo cual le sugirió que estaban confinados en compartimientos definidos separados por una pared o membrana, tal cual se podía observar en las células vegetales, si bien le era imposible detectar esas divisiones en células animales debido a las limitaciones de la microscopía de la época.

Estas observaciones, que unificaban a células animales y vegetales, hicieron que Schwann en 1839 propusiera la Teoría Celular, que establece lo siguiente:

1- Todos los organismos están formados por una o más células.
2- Las células son las unidades estructurales y funcionales fundamentales de la vida.
3- Todas las células provienen de células preexistentes.

Este último punto aparentemente fue aportado por el enunciado de otro alemán, el médico Rudolf Virchow (1821-1902), quien en su juventud había declarado la frase *Omnis cellula e cellula*, que quiere decir exactamente lo que manifiesta la última parte de la Teoría Celular de Schwann. Otro alemán, aunque en la actualidad sería polaco, el neuroanatomista Robert Remak (1815-1865), fue uno de los primeros en notar en 1852 que las células se dividían para formar más células y así establecer los tejidos, lo cual reforzaba mucho más la Teoría Celular y comenzaba a desplazar poco a poco el concepto de que los organismos aparecían como por arte de magia (“generación espontánea”).

Una teoría renovada

A partir de los avances en biología celular desde mediados del siglo XIX, la Teoría Celular se fue perfeccionando, por lo que actualmente podemos hablar de una "Teoría Celular Moderna", cuyos enunciados básicos establecen:

1- Todos los organismos están formados por una (unicelulares) o más células (multi o pluricelulares).
2- Las células son las unidades estructurales y funcionales fundamentales de la vida.
3- Todas las células provienen de células preexistentes por división.
4- Las células contienen la información hereditaria que se pasa de una célula a la otra durante la división celular.
5- Todas las células poseen básicamente la misma composición química.
6- Todo el flujo de energía (metabolismo) de la vida ocurre dentro de las células.

La "fuerza" interior: cromosomas y organelas

Ya vimos en la parte anterior cómo Robert Brown descubría una "mancha opaca" en las células, a la que llamó núcleo. Gracias a dichas observaciones, Theodore Schwann dedujo que cada célula tenía un núcleo y que debían estar separadas unas de otras de alguna manera. Esto fue confirmado por el anatomista y fisiólogo suizo Rudolph Albert von Kölliker (1817-1905), quien demostró que la pared del músculo liso -el responsable de los movimientos del estómago, el intestino y el útero, entre otros órganos- está formada por unidades de células musculares nucleadas.

Antes comentábamos que para Matthias Schleiden el núcleo cumplía un papel protagónico en la célula, argumentando que a partir del mismo se originaba todo lo que lo rodeaba. Por ese entonces, un biólogo alemán, Walther Flemming (1843-1905), se encontraba estudiando diferentes tipos de colorantes para teñir a las células y a sus componentes internos, que hasta ese momento eran desconocidos, a excepción del núcleo. Flemming encontró que algunas tinturas de anilina eran capaces de teñir estructuras en forma de hilo dentro del núcleo

celular, a las que llamó *cromatina*, que vendría a ser algo así como "coloreado" (del griego *khroma*=“color”). Unos años después, el anatomista alemán Wilhem von Waldeyer-Hartz (1836-1921) llamó a esas estructuras *cromosomas*, o "cuerpos coloreados".

Célula dibujada por Walther Flemming, mostrando los cromosomas dentro del núcleo

Flemming se dedicó a estudiar el destino de estos “cuerpos” durante la división celular, proceso al cual bautizó con el nombre de *mitosis*, que quiere decir algo así como "hilo deformado", probablemente por el aspecto que presentaban los cromosomas al microscopio durante la separación de las células. El biólogo alemán observó que durante la mitosis los cromosomas se distribuían entre las células hijas, aunque todavía no tenía forma de saber que esos “cuerpos” eran los portadores del material genético celular ni que se dividían en mitades idénticas entre las células resultantes de este proceso de división,. Fue a partir de estos resultados que Flemming creó la expresión *omnis nucleus e nucleo,* parafraseando a Rudolf Virchow (el autor de la frase *omnis cellula e cellula*), ya que fue el primero en afirmar que cada núcleo celular tenía como predecesor a otro núcleo.

Desgraciadamente, ninguno de todos estos investigadores que por aquellas épocas se dedicaban a estudiar a las células conocía los trabajos del monje y científico austríaco Gregor Mendel (1822-1884). Mendel estudió denodadamente la herencia de los caracteres externos de la planta de arveja, y sus conclusiones acerca de la transmisión de esos caracteres a las futuras generaciones derivaron en lo que se conocen como las "Leyes de Mendel". ¿Y para qué les hubiera servido conocer estas leyes? Básicamente les hubiera permitido conectar a la división de los cromosomas, en donde está el material hereditario, con la transmisión o herencia genética de los caracteres a las células hijas. Lamentablemente, no fue hasta después de la muerte de Mendel que sus descubrimientos tomaron la importancia debida y llevaron a la creación de una nueva rama de la biología, la genética. Pero esa es otra historia que detallaremos dentro de algunas páginas.

Pronto los científicos descubrirían que no todo era núcleo en la célula. El avance de la microscopía y de los métodos de tinción permitió encontrar estructuras aun más minúsculas que el núcleo, aunque todavía se ignoraban sus funciones. Se dice que el primero en llamar a estas estructuras *organelas* fue el zoólogo alemán Karl August Möbius (1825-1908). Möbius aplicó el nombre *orgánula* a las estructuras asociadas a la reproducción de los protozoos unicelulares -los animáculos de van Leeuwenhoek-. Él consideraba que éstos eran

“órganos pequeños” u *organelas*, ya que eran partes diferentes dentro de una misma célula, a diferencia de lo que ocurre con los órganos -como por ejemplo el hígado, el estómago, el cerebro, el corazón, etc.- de los individuos multicelulares, los cuales están formados por un gran número de células especializadas que poseen estructuras y funciones diferentes pero que trabajan en forma coordinada.

Recién a principios del siglo XX la palabra organela se asoció a componentes internos de las células de organismos multicelulares, si bien una de ellas ya había sido descrita con detalle: el núcleo. Esto ocurrió cuando el naturalista sueco Bengt Lidforss (1868-1913) escribió un trabajo titulado "Órganos y organelas", publicado en 1915, después de su fallecimiento.

Veintitrés pares

El número de cromosomas varía muchísimo entre los diferentes organismos que habitan este planeta. Actualmente sabemos -y no desde hace mucho tiempo- que los seres humanos tienen cuarenta y seis cromosomas, distribuidos en veintidós pares más un par de cromosomas llamados *sexuales*, denominados de esa manera debido a que el sexo del portador se determina en base a qué par de esos cromosomas poseen las células de su cuerpo. Si porta un par idéntico (XX) el sexo es femenino, en cambio si el par es desigual (XY) pertenece a un individuo masculino. Cerca del final de este libro veremos cómo es que cada uno de nosotros obtiene alguno de esos pares, es decir cómo se determina el sexo.

Las limitaciones de la microscopía óptica de entonces permitieron descubrir solamente un par de organelas nuevas, aparte del núcleo, y no fue hasta la invención del microscopio electrónico en la década del treinta del siglo XX que aparecieron los nuevos componentes celulares que hoy conocemos. Una de las primeras organelas descritas luego del núcleo fueron las *mitocondrias* (del griego mitos=”hilo” y khondrion=”gránulo”), que justamente al microscopio parecen gránulos con forma de hilos. Muchos investigadores desde mediados del siglo XIX las habían observado, pero fue justamente el primero de ellos, el médico alemán Friedrich Henle (1809-1885), quien reconoció que estas organelas se encontraban en todas las células y que por lo tanto debían jugar un papel esencial, el cual hoy sabemos es el de suministrar energía a la célula que las cobija, algo que veremos en el tercer capítulo de este libro con mayor detalle.

La otra organela descubierta en la era del microscopio óptico se la debemos a un destacado científico italiano: Camilo Golgi (1843-1926). Golgi desarrolló un método de tinción con nitrato de plata que le permitió observar con gran detalle el trayecto de las células nerviosas en el cerebro humano. Esta misma técnica le sirvió para identificar una estructura reticular dentro de las células, a la cual posteriormente se le dio su nombre, llamándola *aparato de Golgi*. Recién a mediados del siglo XX esta organela pudo ser observada con más detalle gracias a la microscopía electrónica, y no fue hasta fines de la década del '60 que pudo comprenderse su función a través de la utilización de rastreadores radioactivos. ¿Y para qué sirve el aparato de Golgi? Sean pacientes y esperen hasta el capítulo tres.

Como dijimos anteriormente, el microscopio electrónico permitió observar con mayor detalle a estas minúsculas organelas. Este avance tecnológico permitió obtener imágenes de alta resolución de las mitocondrias y a la vez observar la compleja estructura de sacos aplanados y encimados que posee el aparato de Golgi. Otra estructura membranosa de características similares a esta última organela comenzó a hacerse notar, aunque a diferencia del Aparato de Golgi, que posee una estructura compacta, se distribuía por toda la célula y poseía un aspecto de tejido de encaje, al cual se lo llamó *retículo endoplásmico*, que se podría traducir como "formación interna reticular".

Ilustración de Camilo Golgi mostrando el aparato de Golgi en una célula del cerebelo

Las organelas más pequeñas de todas, los *endosomas* ("cuerpos internos") y los *lisosomas* (algo así como "cuerpos destructores"), pudieron descubrirse gracias a una combinación de microscopía electrónica, tinción y reacciones bioquímicas. Estas últimas permitieron distinguirlas a unas de otras, ya que ambas tienen un aspecto muy similar pero su contenido interno es muy variado y reacciona de diferentes maneras cuando se lo somete a ensayos de laboratorio.

Se acabó la magia: adiós a la generación espontánea

A pesar de todos los avances científicos del siglo XIX, todavía existían científicos en esa época que creían que la vida podía originarse a partir de materia inerte. Desde la época del filósofo griego Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) en que se afirmaba que los seres vivos podían emerger de materia en descomposición, tal como ocurría con los gusanos en la carne podrida, los insectos en las hojas muertas del suelo, ratones en las pilas de heno sucio, e inclusive ¡cocodrilos a partir de troncos en putrefacción!

A esta doctrina se la llamó de la “generación espontánea”, también conocida como *abiogénesis* (sin origen biológico). Hasta el siglo XVI, oponerse a esta teoría era ir en contra de la razón y el buen sentido, ya que no existía otro motivo por el cual esos seres aparecieran sin haber tenido la materia en descomposición contacto con otro ser vivo, lo cual más que nada se debía a la falta de paciencia o de poder de observación de algunos científicos de la época. Además, el descubrimiento de los microorganismos por parte de van Leeuwenhoek pareció reforzar aún más esta teoría, ya que ahora se sabía quiénes eran los responsables de la generación espontánea, sobre todo debido a que en esas épocas todavía no se consideraba que estos seres minúsculos fueran

capaces de ningún tipo de reproducción o inclusive de poder dividirse para multiplicarse. ¡Y no le podemos criticar a van Leeuwenhoek su poder de observación!

Esta vez tuvieron que aparecer los italianos para abrirle los ojos al mundo. El primero de ellos fue Francesco Redi (1626-1697), quien realizó un simple experimento. Colocó una serie de frascos con distintos contenidos, como por ejemplo carne de ternera o de pescado. De cada frasco tenía un duplicado, el primero quedaba abierto y al segundo le colocaba en la boca una fina gasa, de manera que solo pudiera pasar aire. Dejó los frascos a la intemperie y luego de varios días notó que en los frascos abiertos la carne estaba cubierta de gusanos, mientras que en aquellos protegidos por la gasa no había aparecido absolutamente nada. Después dejó que los gusanos se siguieran desarrollando hasta que ¡se metamorfosearon en moscas! Redi sacó la deducción que las moscas del ambiente (sí, las mismas que varios "no vieron" siglos antes) habían posado sus huevos en la carne con la intención que su descendencia se alimentara de ella al nacer, algo que no pudieron realizar en aquellos frascos en los que no lograron entrar debido a la gasa. Un experimento sencillo pero efectivo que tiró por la borda una teoría con siglos de antigüedad, probando que las moscas no vienen de la carne podrida, sino de otras moscas.

El otro italiano en cuestión fue Lázaro Spallanzani (1729-1799). En la época en que Spallanzani se dedicaba a las ciencias naturales durante su tiempo libre, circulaban las observaciones de un naturalista escocés, John Needham (1713-1781), que afirmaba que existía una "fuerza vital" en el aire y en las materias inorgánicas que era la causante de la generación espontánea. Needham se dedicaba a preparar sopas, hervirlas por un breve momento y almacenarlas en frascos limpios tapados con corchos. Después de varios días la "fuerza vital" se encargaba de hacer aparecer en sus sopas un hermoso cultivo bacteriano, lo cual indicaba que a pesar del calentamiento y del sellado los microorganismos crecían igual.

Spallanzani pensó que el experimento estaba pésimamente realizado, así que comenzó a preparar sus propias sopas. A diferencia de Needham, las dejó hervir por una hora, y en lugar de almacenarlas en frascos tapados con corchos, directamente fundió la boca de los mismos para sellarlos herméticamente. Para sorpresa de Needham, nada creció en esos frascos luego de varias semanas, tirando ¿definitivamente? por tierra a la teoría de la generación espontánea. El error de Needham consistió en hervir la sopa por períodos cortos -hay bacterias que pueden resistir el calor por algún tiempo- y sellar los frascos con corchos, que no son totalmente impermeables a los microorganismos del aire. De cualquier manera los incrédulos pululaban por doquier, y hubo que esperar casi cien años más para desterrar completamente a la generación espontánea.

Ya hablamos de Louis Pasteur en la sección de los antibióticos. Pues bien, aquí va a aparecer de nuevo, y no va a ser la última vez que lo haga. Si bien el experimento que realizó Spallanzani en 1768 había sido muy claro, todavía existían controversias que debían ser aclaradas de una vez por todas antes que

se cumplieran cien años de sus experimentos y todos se murieran de vergüenza por no poder aclarar la cuestión. Por lo tanto, en 1860 la Academia Parisina de Ciencias ofreció un premio a aquella persona que pudiera resolver el conflicto de la existencia o no de la generación espontánea. Y nuestro buen amigo Pasteur se llevó el premio a casa cuatro años después.

El razonamiento de Pasteur fue simple, y no muy alejado del de los italianos Redi y Spallanzani. Si esa "fuerza vital" de la que hablaba Needham existía y se encontraba en el aire, había que buscar la forma de dejarla entrar en contacto con las sustancias orgánicas, como la sopa, pero impidiendo el acceso a éstas últimas de las bacterias del ambiente. Para ello utilizó dos métodos. En el primero, hirvió varios frascos con caldo por largo tiempo, para proceder luego a taparlos con tapones de algodón, permitiendo así la entrada de aire pero impidiendo la entrada de bacterias. En otro experimento calentó el caldo en unos frascos muy particulares, que poseían una especie de "cuello de cisne". La particular forma del cuello de estos recipientes –como si fuera una letra “S” acostada- permitía el intercambio de aire entre el exterior y el contenido, pero no la entrada de microorganismos, ya que los mismos quedaban retenidos en la parte baja del cuello gracias a una ley descrita ya hacía muchos años: la ley de gravedad. Obviamente nada creció en esos frascos. Es más, se asegura que todavía se conservan algunos de esos recipientes y que se mantienen sin contaminación alguna ¡después de más de ciento cuarenta años!

Para probar finalmente que los caldos se contaminaban por las bacterias y no por la "fuerza vital" del aire, Pasteur rompió los cuellos de los frascos o permitió el contacto del líquido con la zona donde se habían acumulado los microorganismos. Luego de varios días, los caldos transparentes y de agradable aroma se transformaron en líquidos turbios y de mal olor debido a la contaminación, pudiéndose observar al microscopio a los millones de bacterias que los poblaban.

Golpe de knock-out

Cuando Pasteur recibió el premio de la Academia Parisina por derribar de una vez por todas a la teoría de la generación espontánea, pronunció la célebre frase "la vida es un germen y un germen es vida. Nunca la doctrina de la generación espontánea se recuperará del golpe mortal que le asestó este simple experimento".

El descubrimiento de los asesinos invisibles

En el primer capítulo de este libro describimos una serie de microorganismos que ayudaron al hombre en su camino hacia la civilización. Fue justamente Pasteur quién descubrió que estos seres diminutos aparecían también en las bebidas fermentadas. Esto lo llevó a crear un método de calentamiento -como por ejemplo altas temperaturas por muy cortos tiempos- que permitía matar a la mayoría de las bacterias y mohos que habitan en líquidos como la leche y el mosto de cerveza, impidiendo además la futura contaminación de los mismos. En honor al científico francés a este método se lo llamó pasteurización.

Pasteur dedujo que si las bebidas se podían contaminar con microorganismos, era muy lógico pensar que algunos de estos pudieran también infectar a humanos y animales. Sus primeros trabajos al respecto estuvieron relacionados con una infección que estaba diezmando a la población de gusanos de seda en una región del sur de Francia. Pasteur estaba convencido que existía un microorganismo (se trataba de un parásito) que atacaba los huevos de los gusanos, y que eliminándolo de los criaderos se erradicaría la enfermedad. La única forma de hacerlo para la época era separando los gusanos sanos y no dejándolos entrar en contacto con los enfermos, los cuales debían ser destruidos. Esto finalmente resultó ser una solución acertada para evitar el colapso de la industria francesa de la seda.

Otro de los descubrimientos de Pasteur relacionados con organismos patógenos (causantes de enfermedades) fue la *anaerobiosis*. ¿Y qué quiere decir esto? Si recurrimos nuevamente al griego nos vamos a dar cuenta que *an* es “ausencia”, *aero* significa ”aire” y *biosis* quiere decir ”relacionado a la vida”. Por lo tanto, una bacteria *anaerobia* es capaz de “vivir sin aire”. Existen anaerobios obligados -se mueren ante la mínima presencia de oxígeno- y *facultativos*. Entre estos últimos tenemos a la mismísima levadura, que con altas concentraciones de oxígeno puede dividirse como loca, pero cuando el preciado gas baja utiliza su metabolismo para convertir glucosa en etanol y dióxido de carbono, o sea para fermentar.

A lavarse las manos (y los dientes)

El hallazgo de la anaerobiosis por parte de Pasteur, llevó al cirujano inglés Joseph Lister (1827-1912) a cambiar los hábitos de las salas de cirugía, eliminando microorganismos patógenos anaerobios con un antiséptico, el *fenol* o *ácido carbólico*, el cual fue utilizado para tratar el material quirúrgico, las salas de operaciones, las manos de los cirujanos y las heridas de los enfermos. Debido a las mejoras logradas en la curación de los enfermos, sobre todo para las heridas gangrenosas causadas por anaerobios, a Lister se lo llamó "el padre de la asepsia moderna". Es más, el nombre de un famoso enjuague bucal -que muchos usamos para matar microorganismos que habitan en nuestros dientes y encías- es un homenaje a este arrojado médico: *Listerine*.

Pasteur también tuvo su cuota de accidentes fortuitos, así como le ocurrió a Sir Alexander Fleming con la Penicilina. En realidad fue un descuido de su asistente, Charles Chamberland, que tenía a su cargo el cuidado de unos cultivos bacterianos del agente causante del cólera de pollo. Chamberland debía inocular con estas bacterias unos pollos en ausencia de Pasteur para inducir la enfermedad, pero aparentemente él también se fue de vacaciones y se olvidó de su tarea. A su vuelta, y probablemente para que Pasteur no lo despidiera, inyectó a los animales con el cultivo, que ya tenía un mes de antigüedad y se había echado a perder. Los pollos no se sintieron bien por un tiempo pero luego mejoraron y, para sorpresa de los científicos, posteriores inoculaciones con bacterias frescas no eran capaces de enfermarlos. Pasteur dedujo que la bacteria

debilitada del cultivo viejo había inmunizado a los pollos impidiendo que pudieran ser infectados nuevamente. Lo que no quedó claro es si Chamberland conservó su trabajo porque confesó su olvido y fue disculpado, o porque le dijo a Pasteur que ya sospechaba que el resultado obtenido era posible y que había descuidado los cultivos “a propósito”.

Pasteur aplicó un método similar para inmunizar al ganado contra la bacteria causante del ántrax, solo que en esa ocasión “debilitó” al microorganismo, que es un anaerobio facultativo, exponiéndolo al oxígeno. De esa manera pudo inducir una respuesta eficiente del sistema inmune mediante el uso de una bacteria incapaz de enfermar al ganado.

Este concepto del "germen débil" que causa inmunidad no fue realmente una invención de Pasteur, ya que el científico inglés Edward Jenner (1749-1823) había utilizado setenta años atrás un método similar. Jenner había observado que las mujeres que ordeñaban vacas en la campiña inglesa nunca se enfermaban de viruela, una enfermedad transmitida por un virus que estaba haciendo estragos por esos años. Además, notó que tenían unas ampollas purulentas en sus manos similares a las de la viruela, y dedujo que se debían al contagio de un tipo de viruela vacuna, inofensiva para las campesinas pero que a su vez les daba inmunidad contra la viruela humana que azotaba la región.

A pesar del riesgo que ello implicaba, Jenner se atrevió a inocular a un niño de ocho años con el pus de estas ampollas, exponiéndolo más tarde al virus causante de la viruela humana, tras lo cual el niño jamás adquirió la enfermedad. Los temores que producía en esa época ser inoculados con pus de ampollas originadas a partir de una enfermedad animal llevaron a tildar a Jenner con todos los epítetos que se puedan imaginar. Incluso la imaginería popular llegó a los extremos de creer que a los inoculados les iban a crecer vacas en diferentes partes de su cuerpo, como fuera ilustrado en una caricatura muy famosa de 1802 en donde se burlaban abiertamente de Jenner y su método.

Aflojando al gérmen

La única diferencia del método de Jenner con las inmunizaciones de Pasteur para el cólera de pollo y el ántrax bovino, es que en estos últimos el "germen débil" fue generado artificialmente, en el primer caso por un cultivo echado a perder, y en el segundo por la oxigenación de la bacteria. A estos microorganismos debilitados Pasteur los llamó *vacunas*, en honor al descubrimiento de Jenner. O mejor dicho, en honor de quien donó el material inmunizante, es decir la vaca.

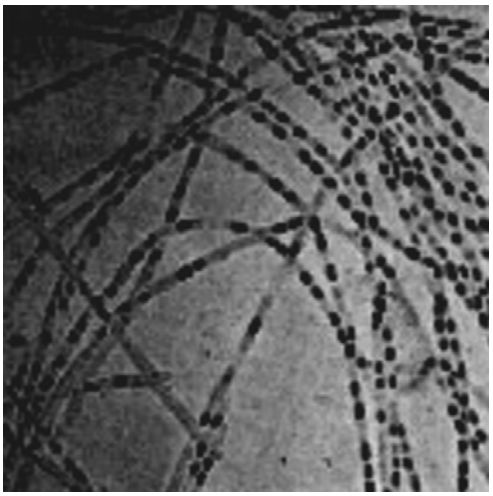
Antes de seguir con esta historia, plagada de científicos “hombres”, hay que hacerle justicia a una de las pocas mujeres que allá por el siglo XVII, y mucho antes que Jenner y Pasteur aparecieran en escena, se atrevió a aplicar un método científico para inmunizar contra la viruela, y con bastante éxito. Claro que todo ese éxito se desvaneció por dos motivos que para esa época eran suficientes para borrar cualquier párrafo de la historia: el método provenía de oriente y quien lo aplicaba era una mujer.

Lady Mary Wortley Montagu (1689-1762) era una escritora de la aristocracia inglesa que vivió unos pocos años en la capital de Turquía, Constantinopla (actualmente Estambul), debido a que su marido, Edward Wortley Montagu, fuera nombrado embajador inglés en ese país de oriente. Lady Montagu observó que los turcos solían hacer inoculaciones con el contenido de las ampollas que se formaban en pacientes con variantes leves de la viruela, con el fin de proteger de la enfermedad a aquellos que todavía no la habían contraído. Este proceso se llamaba *variolación* (por *Variola*, el nombre en latín del virus de la viruela), y posteriormente pasó a llamarse *inoculación* (también del latín *inoculare*=”injertar”).

Al mismo tiempo que Lady Montagu volvía de Turquía, una epidemia de viruela se desató en Inglaterra, y la osada escritora se las ingenió para convencer al mismísimo rey de que inoculara a través de este procedimiento a dos de sus nietos, gracias a lo cual no sufrieron las consecuencias de la enfermedad. Luego de que el método finalmente se estableciera en la región, la cantidad de muertes de quienes no fueron tratados superaba en diez veces a la de aquellos que habían sido inoculados.

Uno de los principales aportes de Jenner con sus vacunas, que se aplicaron ochenta años después de que lo hiciera Lady Montagu, fue justamente la utilización del virus de la viruela bovina para la inoculación, lo que permitió que los pacientes pudieran adquirir la inmunidad contra el virus humano sin el peligro de contraer la enfermedad, bajando la mortalidad a niveles nunca antes alcanzados.

Pero volvamos a Pasteur, quien no se detuvo ahí. Él ya conocía los trabajos del médico francés Émile Roux (1853-1933), quien lo acompañó también en sus experimentos con el ántrax bovino. Roux había creado una vacuna antirrábica que había sido empleada con éxito en perros. Un día de julio de 1885, Pasteur tomó una de las decisiones más difíciles de su vida. Un niño de nueve años había sido mordido por un perro rabioso y sus perspectivas de vida eran nulas. Pasteur, a pesar de no ser un médico habilitado -lo cual podía llevarlo a la cárcel-, consultó con algunos de sus colegas y decidió inocular al niño con la vacuna de Roux. El tratamiento fue tan exitoso que permitió el desarrollo de nuevas vacunas y la creación de una de las instituciones científicas más prestigiosas de nuestros tiempos, el Instituto Pasteur.



Fotografía tomada por Robert Koch en donde se observa un cultivo de la bacteria responsable del ántrax bovino

Otro destacado luchador contra los asesinos invisibles fue el médico alemán Robert Koch (1843-1910), que fue el primero en purificar de la sangre el bacilo responsable del ántrax bovino y hacerlo crecer en cultivos artificiales. De esta manera pudo observar que la bacteria no podía vivir fuera del huésped por mucho tiempo, pero sí era capaz de crear una

forma resistente y "dormida" a la que llamó *endospora* (del griego, “semilla interna”). Como estas endosporas podían acumularse en el suelo y permanecer allí durante largos períodos de tiempo, podían causar epidemias de ántrax de manera "espontánea", palabra que como ya vimos Pasteur había erradicado del lenguaje científico.

Koch, además, perfeccionó los métodos de cultivos bacterianos, a tal punto que el fundamento de los mismos sigue siendo utilizado en el día de hoy en microbiología. Por ejemplo, el recipiente que se utiliza para crecer los microorganismos se denomina *caja de Petri* en honor al ayudante de Koch que la ideó, Julius Petri.

En los comienzos de la microbiología, en las cajas de Petri se colocaba gelatina como medio de cultivo, pero las altas temperaturas del verano no la dejaban solidificar correctamente, impidiendo que las bacterias crecieran en su superficie. Otro de los asistentes de Koch, Walther Hesse, no podía encontrar una solución a este problema, hasta que un caluroso día de verano salió de picnic con su esposa Angelina. El científico notó que algunos de los postres que su mujer había preparado parecían estar hechos con gelatina, pero los mismos no se derretían con las altas temperaturas reinantes. Al preguntarle con qué los había preparado, su esposa le contestó que era un pequeño truco que un vecino holandés emigrado de la isla de Java, en Indonesia, le había enseñado hacía muchos años. Según le contó su vecino, en Java para dar consistencia a las comidas utilizaban el *agar-agar*, una sustancia gelatinosa que se extrae de algas marinas, y que se vuelve sólida a partir de los cuarenta grados centígrados. Hesse entonces preparó sus medios de cultivo con agar-agar, los cuales se mantuvieron consistentes aun en los veranos más extremos.

Técnicas pioneras

Tanto los medios con agar-agar como las cajas de Petri se siguen utilizando actualmente para realizar cultivos bacterianos, ya sea para estudios clínicos y de diagnóstico, así como para la investigación en microbiología y biología molecular. Estas técnicas le permitieron a Koch, entre otras cosas, descubrir el agente causante de la tuberculosis, el *Mycobacterium tuberculosis* o *bacilo de Koch*, enfermedad que causaba una muerte de cada siete personas a mediados del siglo XIX.

A partir de su trabajo en la tuberculosis, que le valió el Premio Nobel de Medicina en 1905, Koch creó los postulados que establecen cuándo se considera que un organismo es el causante de una enfermedad. Para ello el agente infeccioso debe:

- Ser encontrado en todos los casos observados de la enfermedad.
- Poderse aislar de individuos enfermos y mantenerse en un cultivo puro.
- Ser capaz de reproducir la infección original, aun después de varias generaciones en cultivo.
- Poderse recuperar de un individuo inoculado y cultivado nuevamente.

Bueno, hasta aquí llegó la historia. O eso parece. Porque ante cada descubrimiento que contemos, cada hallazgo que relatemos, o cada descripción

que detallemos no vamos a poder dejar de nombrar a aquellos que lo hicieron por primera vez, y eso señores es historia.

Por eso, a partir del próximo capítulo nos vamos a dedicar a las células propiamente dichas, sin dejar de lado a aquellos que hicieron grandes aportes y que todavía no hemos mencionado. O tal vez sí. Pónganle la firma que Pasteur aparece seguro.

CAPÍTULO 3

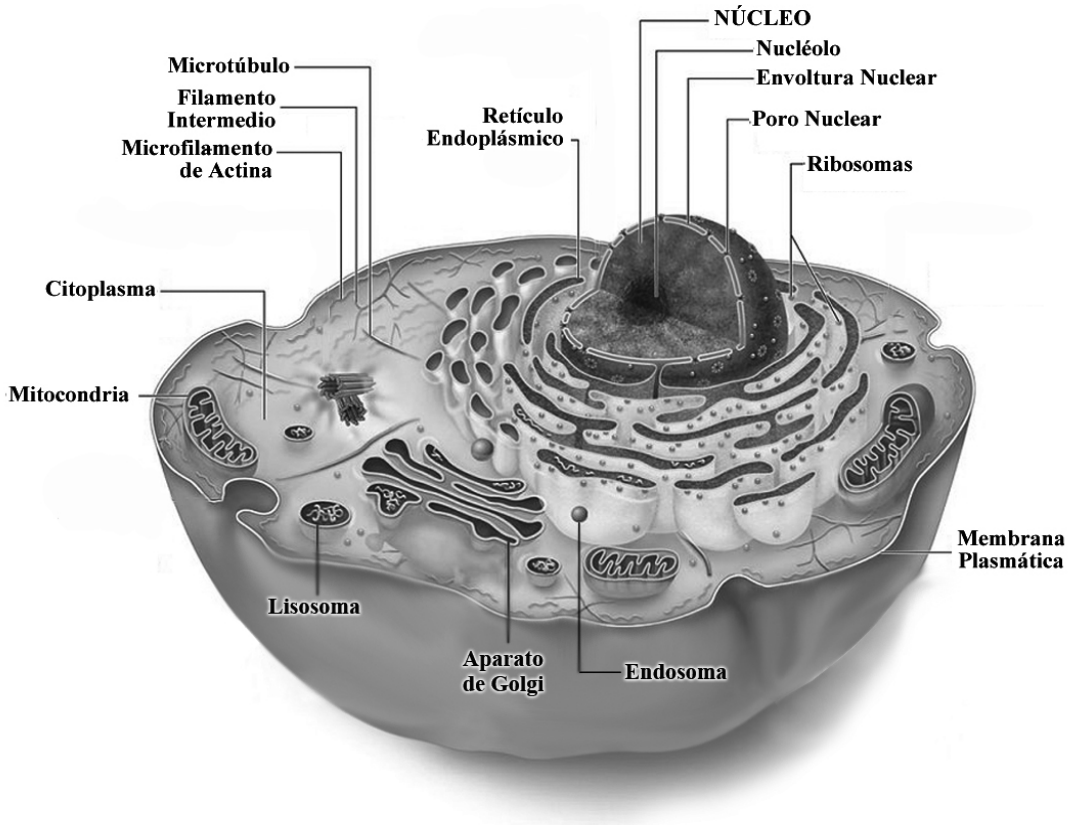
Las células por dentro: maravilla de la naturaleza

Viaje al centro de la célula

A partir de esta sección nos adentraremos finalmente en el sujeto que dio origen a este libro, es decir, la célula.

Para ello empezaremos una especie de viaje desde afuera de la célula hacia su interior. Vamos a conocer primero a la *membrana plasmática*, que es lo que la delimita del medio que la rodea, impidiendo por un lado que entre o salga cualquier cosa, pero a su vez seleccionando entre lo que la célula precisa que esté afuera y lo que necesita que ingrese en su interior.

Las células poseen las más variadas y diferentes formas imaginables. Y esas formas existen gracias a un andamiaje interno que sostiene al citoplasma celular. Esta estructura de sostén, a diferencia de lo que mantiene erguido a un edificio, es muy flexible y cambiante, lo cual le permite a muchas células una elasticidad increíble, y no solo eso, sino que muchos de los componentes de ese andamio, llamado de manera muy original *citoesqueleto*, sirven como veloces



Esquema general de una célula animal, destacando los componentes que se describen en este capítulo

autopistas para transportar todo tipo de cosas de un lado al otro de la célula.

Una vez ubicados dentro de la célula, vamos a movernos por sus autopistas para ver que existe todo un mundo, delimitado por diferentes áreas con funciones muy específicas, y que tiene como protagonistas a esos componentes internos que en el capítulo anterior conocimos como *organelas*.

El actor principal entre estos componentes es justamente el primero que fuera descrito por el hombre como una parte esencial de la célula, el *núcleo*. Esta "computadora central" cobija a los anteriormente mencionados cromosomas, en donde se localizan los genes que almacenan la información necesaria para que la célula pueda llevar a cabo todas sus funciones, desde su alimentación y movimiento hasta su multiplicación y su muerte.

Siguiendo nuestro viaje, veremos que las células poseen sus propias centrales de generación de energía, sin la cual sería incapaz de vivir. Estos componentes, las *mitocondrias* y los *cloroplastos*, van a demostrarnos cómo a partir de lo que comemos podemos obtener la energía necesaria para movernos, pensar, crecer y todas las actividades que se puedan imaginar.

Finalmente, llegaremos hasta una de las fábricas más maravillosas y eficientes que existen en la naturaleza. Gran parte de la estructura de las células y un sinnúmero de las funciones que estas llevan a cabo tienen como protagonistas a las proteínas. Y para fabricar a las proteínas existe una maquinaria que no solo las produce y las ensambla, sino que también les realiza un control de calidad exhaustivo. Todo esto es llevado a cabo en conjunto por un complejo sistema tubular, que se inicia en la sección "armado, ensamblado y control de calidad", el cual se encarga de la producción, plegamiento y verificación de las proteínas (lo que se conoce con el nombre científico de *retículo endoplásmico*), seguido por la sección "afinación", que tiene como función principal agregarle los detalles finales a esas mismas proteínas que pasaron el control de calidad previo (el *aparato* que descubriera Camilo Golgi y que lleva su nombre), finalizando con la sección "reciclado y degradación", que tienen la tarea de reusar lo que todavía sirve o degradar lo que ya no le es útil a la célula (de la que forman parte los *endosomas* y los *lisosomas*, respectivamente). Por lo tanto, a abrocharse el cinturón y a agarrarse fuerte para comenzar un viaje extraordinario al interior de la célula.

Barrera selectiva: la *membrana plasmática*

Sin dudas en este capítulo nos vamos a sorprender de lo maravillosa que es la madre naturaleza. Porque cada parte de la célula está hecha a la perfección para cumplir su papel principal.

La membrana plasmática o celular es un ejemplo de ello. Es una estructura lo suficientemente resistente para aislar a la célula del ambiente que la rodea, pero a su vez posee la capacidad de seleccionar entre lo que entra y lo que sale, de

manera que los componentes celulares se mantengan adentro y, por ejemplo, los nutrientes puedan ingresar sin problema alguno.

¿Y cómo se las arregla la membrana plasmática para eso? De una manera muy ingeniosa. Para armar esta "barrera" se utilizan unas moléculas muy particulares que tienen la característica de poseer un extremo que tiene afinidad por el agua y otro que la rechaza. La mitad “acuosa” de estos compuestos está formada principalmente por fósforo, y la otra mitad consiste en *lípidos* o grasas, de los cuales toman su nombre: *fosfolípidos*.

Generalmente, tanto el medio que rodea a la célula como el interior de ella son acuosos, y esto generaría un problema a la hora de mantener una membrana “grasosa” en uno de sus lados. Pero ya mencionamos que la naturaleza es ingeniosa, por lo tanto también se encargó de solucionar ese problema. Sucede que las membranas biológicas vienen generalmente -hay muy raras excepciones- en *bicapas*. ¿Y qué quiere decir eso? Que los fosfolípidos forman algo así como dos membranas una encima de la otra, en donde las mitades afines al agua de ambas quedan hacia afuera, mientras que las grasas quedan metidas hacia adentro. De esa manera se puede formar una barrera eficiente entre dos medios acuosos como son el citoplasma y el medio que rodea a la célula.

Puente entre dos mundos

Muchas proteínas tienen la capacidad de insertarse en la membrana plasmática debido a que poseen parte de su estructura soluble en grasas, mientras que aquellas partes que no lo son se asoman al exterior o al citoplasma. Eso las ayuda a contactarse tanto con componentes del medio externo como del interior celular, de manera que funcionan como una especie de "puentes" o "conectores", como es el caso de algunas proteínas muy particulares denominadas *receptores*, que poseen partes de su estructura tanto hacia fuera como hacia adentro de la célula.

Cuando una señal externa llega a la superficie celular, como ocurre con muchas hormonas por ejemplo, ésta no entra a la célula, pero toma contacto con su receptor específico -la señal es como una llave y el receptor como una cerradura-, y eso hace que se produzcan una serie de transformaciones que hacen que la parte citoplasmática del receptor interactúe con componentes celulares internos, desencadenando así una sucesión de señales que llevan a cambios notorios en el comportamiento de la célula, como por ejemplo que se mueva, que se divida, o inclusive que se muera.

Si bien existen algunas cosas que pueden atravesar este tipo de membranas sin ninguna resistencia -sobre todo si son pequeñas-, existen otras que necesitan ayuda para entrar, ya sea debido a su tamaño o a que no pueden atravesar la membrana por ser insolubles en ella -adentro hay mucha “grasa”-. Además, no solo los fosfolípidos habitan la membrana, sino que existen otras cosas más, como las ya mencionadas proteínas, a las cuales encontraremos en todos lados y haciendo todo lo que se les ocurra, debido a la gran variabilidad en sus estructuras y funciones.

Para ayudar en el transporte entre todo lo que entra y sale de la célula, existen proteínas muy especializadas que forman "poros" en la membrana y que

son llamados *canales*. Si bien son como tubos que conectan ambos lados de la membrana plasmática, la mayoría de ellos están cerrados y solo se abren cuando alguna señal se los indica, permitiendo así el pasaje de componentes específicos según las necesidades de la célula.

Andamiaje y autopistas: el *citoesqueleto*

Ya comentamos al principio de este capítulo que existe un andamiaje, el citoesqueleto, que mantiene y le da forma a las células, pero que no solamente tiene esa función, sino que también las ayuda a moverse, participa en la división celular, y sirve además para establecer "autopistas" que comunican todas las partes de la célula, permitiendo que se transporten toda clase de cosas de un lado a otro de ella.

Pero empecemos con el andamiaje. El citoesqueleto está compuesto por diferentes tipos de proteínas, cada una de las cuales lleva a cabo una tarea distinta. Por un lado tenemos un sistema de largos tubos cilíndricos, los cuales se arman y se desarman constantemente desde sus extremos, lo que les permite cambiar de dirección o de longitud según las necesidades de la célula, contribuyendo al mantenimiento de su forma y a su movilidad. A estas estructuras se las conoce como *microtúbulos* (“tubos pequeños”).

El segundo grupo de componentes estructurales de la célula no forma armazones tan largos como los microtúbulos, pero su ubicación preferencial debajo de la superficie celular les da un papel muy importante en el mantenimiento de la forma de la célula. A estos elementos de andamiaje se los conoce con el nombre de *microfilamentos*.

Los últimos componentes, y quizás los menos conocidos del citoesqueleto, también se encargan de mantener la forma celular, pero además contribuyen a mantener en posición a todos los componentes internos y le dan soporte a la envoltura del núcleo. El más conocido de estos *filamentos intermedios* es la *queratina*, componente principal de nuestros cabellos.

Muy lindo todo lo del andamiaje. Pero, ¿y las autopistas? Cómo acabamos de ver, los microtúbulos forman largas estructuras tubulares, las cuales a su vez atraviesan la célula casi en su totalidad, desde el centro hacia la periferia. Pues bien, estas estructuras son aprovechadas como "rutas" para transportar toda clase de cosas, desde pequeños virus hasta grandes mitocondrias. Para ello se utiliza un tipo especial de proteínas a las que se las denomina de manera muy acertada *motores moleculares*. Estos motores generalmente constan de dos partes, un extremo que "camina" por los microtúbulos, y el otro que "engancha" al objeto que se está transportando, lo que permite moverlo hacia cualquier parte de la célula.

Existen otro tipo de motores, pero que se asocian a los microfilamentos, los cuales son conocidos como *miosinas* (del griego *myo*=”músculo”). Se los relacionó primero con la contracción muscular, de allí su nombre, ya que abundan en ese tejido, pero también existen en otros tipos celulares, teniendo un papel más que

relevante en el transporte de todo aquello que ingresa desde el exterior a través de la membrana plasmática.

Almacenamiento y regulación de la información: el *núcleo*

En el capítulo anterior hemos hablado bastante del núcleo, ya que fue el primer componente que se destacó visualmente en las primeras células observadas al microscopio. Y si bien el núcleo es muy importante, no todas las células lo poseen, pero las que se benefician con su presencia han dado un paso evolutivo muy importante, pues en su interior se conserva la gran mayoría de la información genética de la célula, la cual está almacenada en una molécula de gran tamaño llamada ADN (*Ácido DesoxirriboNucleico*), el cual está formado por dos cadenas complementarias enfrentadas una a la otra y que se organizan en una estructura en forma de hélice, bastante parecida a una escalera caracol.

¿Y los cromosomas? Justamente, los cromosomas son ADN altamente compactado –con la ayuda de proteínas, ¿de qué otra manera podría ser?-, ya que es la única forma de meter tanta información en un espacio tan pequeño.

Básicamente, el núcleo está separado del resto de la célula por una *envoltura*, que está formada por dos membranas, entre las cuales queda un espacio o luz. La membrana más externa, es decir la que tiene contacto con el citoplasma, se continúa con la compleja estructura tubular que produce la mayoría de las proteínas -la sección “armado, ensamblado y control de calidad”-, y a la cual describiremos un poco más adelante en este capítulo.

Como se imaginarán, una membrana doble agrega una mayor impermeabilidad a todo lo que tiene que entrar desde el citoplasma, o a aquello que tiene que salir del núcleo. Para que ese transporte pueda ocurrir, existen unas estructuras proteicas llamadas *poros nucleares*. Estos poros, que atraviesan ambas membranas nucleares, poseen sistemas de control muy complejos para dejar pasar diferente tipo de cosas -pero no cualquiera- entre el citoplasma y el núcleo.

Algunas moléculas pequeñas pueden atravesar la barrera de la envoltura nuclear sin problemas, pero aquellas que son más grandes necesitan la ayuda de proteínas *transportadoras*, que se encuentran asociadas a los poros, y que se encargan del control o "peaje" nuclear.

El núcleo a su vez posee en su interior otra estructura especializada llamada *nucléolo*. Generalmente se lo ve como una mancha más densa dentro del contenido nuclear, y es el lugar donde ocurre el proceso de “ensamblado” de un grupo de proteínas que a su vez es esencial para fabricar proteínas. ¿Confuso? Pues bien, para explicar esto vamos a necesitar un par de paréntesis nucleares para ver algunos de los mecanismos que se llevan a cabo dentro del núcleo.

Paréntesis nuclear 1: funciones del núcleo

Hasta ahora hemos estado hablando mucho sobre las proteínas, lo variadas que son, tanto en su forma como en su función. Pero, ¿de dónde salen? El ADN que se almacena en el núcleo lleva consigo la información genética, es decir todo aquello que se necesita para "armar" un ser vivo. Esa información está guardada en forma de código. Así como las computadoras utilizan el *código binario* -combinaciones de ceros y unos- para almacenar información, las células emplean un *código cuaternario*, basado en infinitas combinaciones de cuatro letras, A, C, G y T, que se corresponden con los bloques que conforman la estructura del ADN. Esas letras provienen de los nombres químicos -*Adenina, Citosina, Guanina y Timina*- de los componentes básicos del ADN, a los cuales se conoce como *nucleótidos*. Largas extensiones de las más variadas combinaciones de estos cuatro nucleótidos forman lo que se llaman *secuencias*. ¿Y qué codifican estas secuencias? Nada más y nada menos que proteínas. Pero a su vez, como para confundirnos un poco más, las proteínas están formadas por otro tipo de bloques diferentes a los nucleótidos, los *aminoácidos*.

Ahora bien, si el ADN está formado por nucleótidos y las proteínas por aminoácidos -y nucleótidos y aminoácidos no se parecen en absolutamente nada-, ¿cómo se las ingenia la célula para producir proteínas a partir del ADN? Es fácil -o no tanto-, tiene que "traducir" la información. Primero, copia una secuencia particular del ADN, transfiriéndola a otra cadena intermediaria denominada *Ácido RiboNucleico mensajero*. Este mecanismo en el que se obtiene una copia fiel de una de las dos cadenas complementarias del ADN es conocido como *transcripción* y ocurre completamente dentro del núcleo.

Modelo para armar

Existen veintiún aminoácidos en la naturaleza, y son más que suficientes para crear a todas las proteínas que se puedan imaginar cuando se los combina de las formas más variadas. Estos aminoácidos difieren en tamaño y carga eléctrica, lo cual hace que al combinarlos de múltiples maneras den lugar a la creación de enzimas que degradan azúcares, motores que "caminan" sobre el citoesqueleto, o receptores y canales que seleccionan exhaustivamente aquello que puede o no atravesar una membrana. Y eso es solo una pequeña muestra de todo lo que pueden hacer las proteínas

El mensajero obtenido va a servir luego de molde para fabricar a la proteína que está codificada en su secuencia. Pero para ello debe salir del núcleo, y es aquí donde los poros nucleares cumplen un papel relevante, ya que son los encargados de facilitar el pasaje del mensajero hacia el citoplasma.

Una vez que el mensajero sale, toma contacto con los *ribosomas*, los cuales son una combinación de *ARN ribosomales* -parecidos a los mensajeros, pero más pequeños- y proteínas. Cuando estos dos componentes se ensamblan –proceso que ocurre en el nucléolo que nombráramos al final de la sección anterior- dan forma a dos estructuras casi esféricas que encajan a la perfección una encima

de la otra, dejando un pequeño hueco entre ambas. Es por ese diminuto espacio que pasa la cadena del mensajero, tal cual lo hace un hilo a través de una aguja.

Es a partir de ese momento que comienza el proceso de *traducción*. El cuerpo del ribosoma reconoce el código que trae la secuencia del mensajero, y cada tres "letras" del mensaje agrega el aminoácido correspondiente a la nueva cadena proteica que se va construyendo. ¿No se entiende? Veamos un ejemplo. Las cuatro "letras" de las que hablábamos -A, C, G y T- se pueden combinar de a tres en diferentes formas, por ejemplo AGC. Cada grupo de tres letras, corresponden exactamente a un aminoácido según un *código genético*, que ha sido descifrado hace mucho tiempo y que se representa comúnmente en la forma de una tabla para facilitar su "decodificación" de mensajero a proteína. Ahora bien, podemos decir que si combinamos cuatro letras de a tres, vamos a tener sesenta y cuatro codones diferentes (4 x 4 x 4 = 64), pero en la naturaleza solamente existen veintiún aminoácidos, Entonces, ¿cómo es eso? Pues bien, el código genético es *redundante*, es decir que algunos aminoácidos son codificados por más de una combinación de tres letras (ver recuadro titulado **Mejor que sobre y no que falte**). Una vez traducida la proteína completa a partir del mensajero, la misma se separa de los ribosomas y...Ya vamos a ver más adelante.

El núcleo, además de la producción de mensajeros, tiene a cargo otra función de relevante importancia a la hora de asegurar la descendencia de las células. Previamente a que la división celular se lleve a cabo, se produce en el núcleo la duplicación del ADN o *replicación*, la cual asegura que la información genética que reciben las células hijas luego de la división sea exactamente la misma. Para ello es necesario que primero se "aflojen" los cromosomas, permitiendo así que todo al ADN se copie, para luego volver a "compactar" esa información en cromosomas duplicados, que se van a repartir equitativamente entre las dos células que se van a formar luego de la división.

Mejor que sobre y no que falte

Existen aminoácidos que poseen un solo juego de tres letras que los representa en el mensajero, como es el caso de la *metionina* cuyo trío codificante es el AUG -en el ARN el *Uracilo* reemplaza a la *Timina* del ADN, o sea que hay una *U* en lugar de una *T*-. Pero también hay otros aminoácidos muy redundantes como la *serina*, que es codificada por seis tríos de letras diferentes -UCA, UCC, UCG, UCT, AGU y AGC-. Por otro lado, además de la *redundancia* o individualidad del código genético, existen tres secuencias que no representan aminoácido alguno, y que se consideran de *detención*. ¿Para qué sirven? Imagínense que las proteínas tienen un largo determinado, por lo tanto el mensajero debe poseer una señal que marque donde termina cada proteína, y para eso existen las secuencias UAA, UAG y UGA, conocidas como secuencias de detención o *stop*. Todo esto hace que las sesenta y cuatro combinaciones posibles codifiquen para los veintiún aminoácidos diferentes que existen en la naturaleza, y también para avisar en donde termina cada proteína a través de las tres señales de "pare".

Por lo tanto, la importancia del núcleo no solo reside en la conservación del material genético de la célula, sino que también participa en la regulación de procesos tan importantes como la duplicación del ADN y la transcripción del mismo a mensajeros que van a servir para producir proteínas. Esto demuestra que el botánico alemán Matthias Schleiden no estaba tan equivocado, allá por mediados del siglo XIX, cuando sugirió que el núcleo era la parte más importante de la célula. Si bien cada componente celular es valioso a su manera, en el núcleo reside toda la información necesaria para que la célula sea lo que es, y si bien en la época de Schleiden todavía no se sabía nada del ADN y los cromosomas, su enunciado afirmando que a partir del núcleo se originaba el resto de la célula, no hace más que asombrarnos por su cercanía con la realidad que actualmente conocemos.

Paréntesis nuclear 2: herencia - de tal palo, tal astilla

Y ya que hablamos de ADN y herencia de células madres a hijas, éste es quizás un momento adecuado para seguir dando vueltas por el núcleo y explicar para qué sirve que el material genético se divida en partes iguales entre las células resultantes de una división.

Ya vimos que en la Teoría Celular Moderna se afirma que "las células contienen la información hereditaria que se pasa de una célula a la otra durante la división celular", y por lo que acabamos de ver esa información está "codificada" en el ADN en forma de genes, que son los bloques que representan a cada proteína de un determinado organismo. Por supuesto que con las proteínas solas no alcanza, pero en gran parte son las encargadas de que seamos lo que somos. De cualquier manera, no hay que olvidar que existen otros componentes importantes para que una célula pueda vivir y funcionar correctamente, como por ejemplo el ADN y los mensajeros, los lípidos o grasas, los azúcares, las vitaminas, los minerales, etc., algunos de los cuales son sintetizados por los mismos organismos -con la ayuda de las proteínas, claro- mientras que otros deben ser incorporados con la alimentación.

Ahora bien, la gran mayoría de nuestras características biológicas -desde el color de ojos hasta ciertas enfermedades, como la diabetes- son heredadas, y eso se sabe desde hace miles de años. A partir de que el hombre se asentó y comenzó a cultivar la tierra y a criar ganado, los antiguos agricultores sabían que cuando seleccionaban semillas de las mejores plantas iban a tener cultivos excelentes, y los primeros ganaderos se dieron cuenta que las crías se optimizaban si elegían un semental con características sobresalientes para fecundar a sus hembras. Pero claro, no tenían idea acerca de por qué eso ocurría.

En su libro *El Origen de las Especies*, publicado en 1859, el naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882) sugería la existencia de algún tipo de mecanismo por el cual las características de cada individuo eran transmitidas de generación en generación, pero todavía no estaba claro cómo. Todo esto comenzó

a desentrañarse unos años después, en 1866, cuando un monje naturalista nacido en Austria publicó sus descubrimientos sobre la herencia de caracteres. Este monje se llamaba Gregor Mendel, y se lo reconoce actualmente como el padre de la genética, que es la especialidad que estudia justamente la transmisión de *caracteres* -o herencia- de una generación a otra. Y decimos actualmente porque sus descubrimientos fueron ignorados por sus pares científicos hasta fines del siglo XIX, varios años después del fallecimiento del monje. Estos así llamados "caracteres" son los que hoy conocemos como *genes*, nombre que les diera en 1909 el botánico danés Wilhem Johannsen (1857-1927).

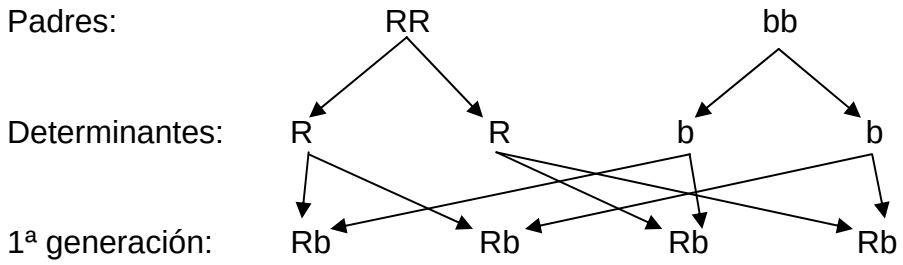
¿Y cómo logró Mendel desentrañar un misterio oculto por siglos? Pues bien, hagamos un poco de historia que no viene mal. En sus ratos libres, el monje se dedicaba a cultivar todo tipo de plantas en el jardín del convento que habitaba. Pero una de esas plantas, la arveja -también conocida como guisante o chícharo común-, le llamaba la atención, ya que muchas de sus características externas mostraban patrones hereditarios que se correspondían con predicciones matemáticas. A estas características externas actualmente se las denomina *fenotipo* (“manifestación visible de algo”), las cuales están determinadas por los genes, que a su vez en su conjunto conforman el *genotipo* del individuo. Debido a estas observaciones, Mendel decidió estudiar esas características, como el color de la flor y la rugosidad de las semillas, y seguir su distribución a lo largo de varias generaciones. Pero como la genética es bastante complicada por sí misma, y no queremos distraernos de nuestra protagonista principal, la célula, simplemente trataremos de explicar las dos leyes que formuló Mendel en relación a la herencia de los caracteres.

La *Primera ley de Mendel*, como se los conoce a estos enunciados, es la llamada *ley de la segregación*. Para ello, Mendel cruzó ejemplares de arveja que presentaran dos variantes diferentes de la misma característica. Por ejemplo, cruzó una planta de flores blancas con otra de flores rojas, o de semillas lisas con arrugadas, o con semillas verdes contra amarillas, o plantas altas versus enanas, y así para un total de siete caracteres distintos, y luego se puso a estudiar la descendencia en las diferentes generaciones, haciendo análisis estadísticos de los resultados.

Curiosamente -para esa época por supuesto- en la primera generación de arvejas todas las plantas mostraban solamente una de las características de sus antecesores. En el caso del cruzamiento de ejemplares de flores rojas y blancas, toda la primera generación poseía flores rojas. Pero más curiosa fue la segunda generación, que provenía de cruzar dos ejemplares de la primera, que tenían todas flores rojas. En ese caso las flores rojas seguían diciendo presente, pero las blancas volvían a aparecer, con una proporción de una flor blanca por cada tres rojas. ¿Y dónde estaban escondidas esas flores blancas en la primera generación? Pues bien, en esa generación la información para producir flores blancas estaba oculta en los genes pero no se podía ver en las plantas resultantes. Esa información de los genes recién se hizo visible en la segunda generación. ¿Y cómo ocurrió esto? Mendel encontró brillantemente la respuesta al definir que existen

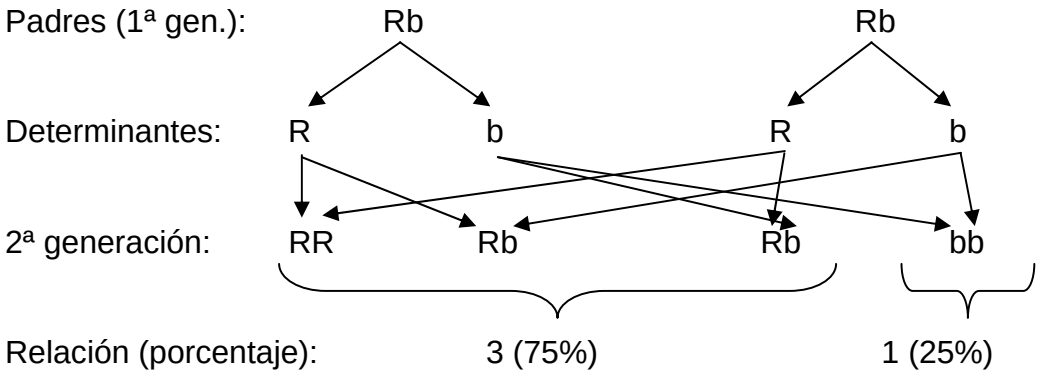
características *dominantes* y *recesivas*. Todas ellas están definidas por caracteres hereditarios -los genes-, existiendo para cada gen un par de determinantes o *alelos*, que en nuestro ejemplo serían rojos y blancos. Cuando ambos determinantes están presentes en un gen, por ejemplo uno para flor roja y otro para blanca, el recesivo –en este caso el que indica que la flor debe ser blanca- se suprime en presencia del dominante –flor roja-, como ocurre con la primera generación de las arvejas, donde el rojo es la característica dominante sobre el blanco, y por lo tanto todas las flores de esa generación serán de ese color.

Pero, ¿qué pasa con la segunda generación? Para entenderlo mejor veamos un ejemplo. Supongamos que a la variedad roja, la dominante, la representamos con la letra R. Como existen dos determinantes por gen, nuestra planta original va a ser RR. En el caso de la planta blanca, representaremos al gen que codifica esta característica recesiva como bb. En este punto cabe aclarar –como para complicarnos más la vida- que tanto en las plantas como en los animales existe un tipo de células que posee la mitad de los determinantes de cada gen, y esas son las células reproductoras, que en el caso de las plantas son el polen y el óvulo. De esta manera cuando la célula “masculina” -el polen- y la “femenina” -el óvulo- se combinan durante la polinización, se producirán semillas con dos determinantes, uno de cada padre. Veamos qué pasa cuando se cruzan una planta RR (flores rojas) con una bb (flores blancas) para dar la primera generación:



Como puede observarse, todos los descendientes de este primer cruce poseerán ambas variedades de color en sus genes, pero solo podrá verse el dominante, resultando en un cien por ciento de flores rojas (Rb). A los individuos que poseen un mismo determinante en su gen, como RR o bb, se los llama *homocigotas*. En el caso de los miembros de la primera generación, que poseen ambas variantes en un mismo gen (Rb), se los describe como *heterocigotas*.

Ahora veamos el resultado de una segunda generación a partir del cruzamiento de dos miembros de la primera:



Ahora podemos ver que tres de cada cuatro plantas van a ser rojas, ya que una posee los dos determinantes para el carácter rojo (RR) y las otras dos llevan ambas variantes, en donde el rojo domina sobre el blanco (Rb). La restante planta recibirá un par de determinantes blancos (bb), por lo cual ahora sabemos que este carácter estaba escondido en la primera generación pero resurgió en una cuarta parte de la segunda.

Por lo tanto la Primera Ley de Mendel establece que cada determinante de un par se separa o segrega del otro miembro durante la formación de las células reproductoras, de manera que cada generación reciba un determinante de cada padre. En el caso de cruces de individuos de raza pura -en nuestro ejemplo los RR y los bb-, el resultado será que todos los descendientes de la primera generación serán todos iguales, mientras que la característica recesiva sólo se hará presente en la cuarta parte de la segunda generación, gracias a la segregación de los determinantes provenientes de la descendencia resultante del cruce entre individuos de raza pura.

No todo es lo que parece

Con los avances de la genética se encontraron muchas variaciones a las leyes de Mendel, como por ejemplo la *codominancia* -que en nuestro ejemplo sería el caso de obtener flores rosadas cuando el individuo posee determinantes rojos y blancos en un mismo gen-, o la existencia de determinantes múltiples, como es el caso de los grupos sanguíneos humanos, en donde existen tres de ellos, que al combinarse en diferentes pares dan la variedad existente de dicho carácter (AA, AO, BB, BO, AB y OO).

A la *Segunda Ley de Mendel* se la conoce como la de *segregación independiente*. Para enunciarla, Mendel realizó el mismo tipo de experimentos que utilizó en la primera ley, pero ahora estudió más de un carácter a la vez, y se dio cuenta de que la segregación de los determinantes de un par es independiente de la de otro par. Esto quiere decir que la descendencia de cruzamientos entre flores blancas y rojas no se va a ver influenciada por lo que ocurra con las siguientes generaciones en relación a otro carácter, como ser la lisura o rugosidad de las semillas. Nuevamente, existen excepciones a esta ley, ya que ahora se sabe que algunas características están definidas por más de un gen, y que estos genes interaccionan entre sí, dando lugar muchas veces a variantes inesperadas o a

proporciones de lo más extrañas (ver recuadro titulado **No todo es lo que parece**).

El ADN se duplica pero, ¿cómo se dividen las células?

En determinado momento de la vida de una célula, esta decide dividirse, ya sea porque lo tiene programado, porque el medio que la rodea se lo ordena, o por otras causas. Esta decisión está marcada por lo que se conoce como *Ciclo Celular* (ver recuadro **La vida es un ciclo**) el cual está altamente regulado en cada uno de sus pasos para evitar errores que podrían llevar a grandes desastres, como defectos en el desarrollo, muerte celular o cáncer.

La división celular -bautizada *mitosis* por Walther Flemming- está compuesta por cinco fases. Durante las primeras de ellas se produce la ya mencionada "compactación" del ADN para formar los cromosomas, los cuales van a moverse por "caminos" construidos por los microtúbulos. Estos componentes del citoesqueleto van a agruparse de una manera muy particular entre ambos polos de la célula que se va a dividir, constituyendo lo que se conoce como *huso mitótico*, llamado así por poseer una forma similar al instrumento que se utiliza para hilar y devanar la lana. Para que quede más claro, si la célula fuera como un globo terráqueo, los microtúbulos de este "huso" serían como los meridianos, que son las líneas que unen los polos norte y sur de nuestro mundo. Por esas líneas se van a mover los cromosomas, una copia para cada polo.

La vida es un ciclo

El ciclo celular está conformado por cinco períodos bien diferenciados: un período de "descanso", otro donde la célula se alimenta, crece y se prepara para dividir su ADN, el período de duplicación del ADN, una segunda etapa de alimentación y crecimiento, y finalmente la división celular o mitosis.

Algunas células bien diferenciadas dejan de dividirse y entran en un período de "descanso" permanente, como es el caso de muchas neuronas de nuestro cerebro -pero no todas-. Otras células continúan desarrollándose durante toda la vida del individuo, como pasa con aquellas que forman parte del torrente sanguíneo y de nuestro sistema inmune.

Para que todo esto ocurra, primero se tiene que "disolver" la membrana nuclear, y los cromosomas se deben ubicar en el "ecuador" de la célula. A partir de allí comienzan a moverse, y una vez que llegan a destino, en los extremos opuestos de la célula, queda asegurado que cada polo poseerá copias idénticas del material genético original. Es a partir de esas últimas fases de la división celular que cada grupo de cromosomas comienzan a ser rodeados de su propia membrana nuclear, el resto de los componentes celulares se reparten más o menos en partes iguales, y la membrana plasmática comienza a "estrangularse" a la altura del "ecuador", hasta un punto en que se corta, dejando así a dos células hijas idénticas a su "madre".

Ahora bien, antes de salir del núcleo conviene explicar un último mecanismo, el cual se encarga de la producción de las células reproductoras. Cabe recordar que este tipo de células son las únicas que poseen la mitad de los determinantes de cada gen -los que fueron denominados “R” y “b” en los cruzamientos de las plantas de arveja-, lo cual se logra gracias a un proceso similar a la mitosis que se conoce como *meiosis*, el cual es llevado a cabo solamente por los hongos, las plantas y los animales, y que en el ser humano ocurre en los testículos del hombre y en los ovarios de la mujer.

De alguna manera, y como para simplificar los conceptos, podemos decir que la meiosis son dos divisiones celulares consecutivas. En la primera, los cromosomas -que recordemos vienen de a pares y que a su vez tienen duplicada su carga de ADN- son los que viajan directamente a los polos de la célula, por lo que al dividirse las células resultantes, estas van a tener la mitad del número de cromosomas original. En el caso de los seres humanos –que tenemos veintitrés pares-, cada célula tendría veintitrés cromosomas en lugar de los cuarenta y seis originales, pero con su carga de ADN duplicada.

En cada una de las dos células obtenidas se lleva a cabo la segunda división de la meiosis, que se parece mucho a una división celular común, con la diferencia que ahora lo que migra a cada polo es una copia duplicada de cada cromosoma, obteniendo así cuatro células con la mitad del material original, a las cuales se las denomina células reproductoras o *gametas*.

Para entenderlo mejor, volvamos a las arvejas de Mendel y sigamos a los cromosomas que llevan el gen que determina el color de la flor. Cada planta va a tener en sus células un par de cromosomas idénticos de este tipo, cada uno llevando dos determinantes, supongamos que sean Rb (planta con flores rojas). Por lo tanto, las células que van a dar origen a las reproductoras van a tener un par de cromosomas con los determinantes Rb cada uno. Durante la primera división de la meiosis se van a producir dos células, cada una ahora con un cromosoma Rb, o sea que van a tener la mitad de los cromosomas de la célula madre pero ambos determinantes. En la segunda división de la meiosis, se van a separar las copias de ADN, cada una con un determinante, por lo tanto se van a obtener cuatro células reproductoras, dos con un determinante R y dos con un determinante b cada una. De esta manera, cuando dos células reproductoras se crucen, se va a recuperar el número de cromosomas original y cada característica va a estar definida por los dos determinantes presentes en cada gen.

Ahora sí, ya podemos dejar al núcleo, su ADN y la herencia, para continuar conociendo al resto de los componentes de la célula.

Batería celular: la *mitocondria*

Estos componentes celulares son nada más y nada menos que los generadores de energía de las células, aunque no todas ellas las tienen. Por ejemplo, las bacterias carecen de estos componentes, pero ello no implica que no

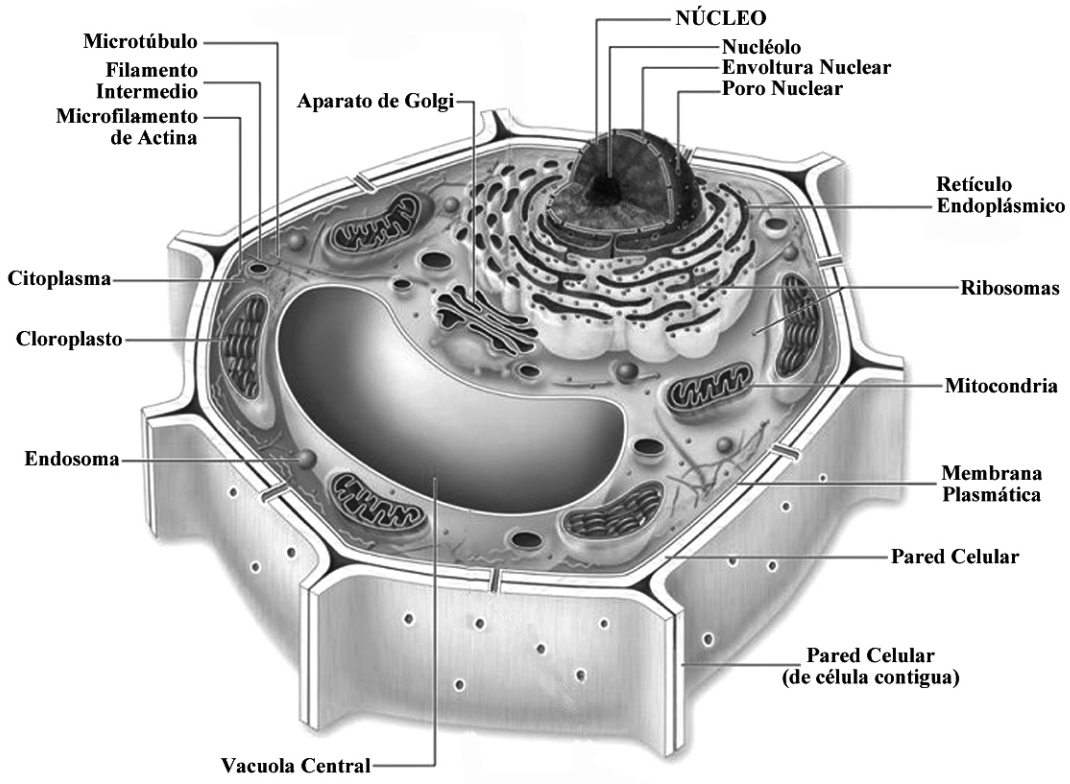
puedan generar energía, ya que justamente existe una teoría que sugiere que las mitocondrias son descendientes directos de las bacterias. Pero eso lo veremos en detalle en un rato.

A diferencia del núcleo, que generalmente es uno solo por célula, el número de mitocondrias varía según el tipo celular, pudiendo ser una sola o miles. Su estructura es muy particular, ya que si bien poseen una doble membrana como el núcleo, cada una de estas membranas, así como los espacios entre ellas, tiene funciones particulares.

Particularmente, dentro de los pliegues que forma la membrana más interna de las mitocondrias, se localizan las proteínas encargadas de elaborar la energía, la cual se obtiene a partir de los nutrientes que incorpora la célula -sobre todo los azúcares- y del oxígeno del aire.

En el interior mitocondrial además podemos encontrar ribosomas –los encargados de traducir el mensajero a proteína- y ADN, el cual codifica para proteínas específicas de la mitocondria. ¿Pero no era que el ADN se encuentra solo en el núcleo? No es tan así en el caso de las mitocondrias, las cuales no solamente poseen su propio ADN, sino que en lugar de tenerlo compactado en cromosomas lo llevan enrollado en una especie de anillo que carece de la protección de una membrana, lo mismo que sucede en las bacterias. ¿Y para qué sirve saber todo esto? Justamente está relacionado con la teoría que se mencionara anteriormente acerca del origen de las mitocondrias en organismos superiores (hongos, plantas y animales).

El notable parecido entre las mitocondrias y los microbios que tanto estudiaban Pasteur y compañía, llevó a la bióloga estadounidense Lynn Margulis (1938-2011) a postular una teoría que sostiene que hace miles de millones de años una bacteria que era capaz de utilizar nutrientes orgánicos y oxígeno para producir energía, se fusionó con una célula de un organismo superior -que probablemente se la haya comido, pero no digerido-, y de este modo se habría establecido una relación simbiótica entre ambas, es decir un vínculo en el que una se beneficiaba de la otra, ya que mientras el nuevo componente celular -ex-bacteria, actual mitocondria- aportaba energía, la célula hospedadora contribuía con los nutrientes necesarios para la producción de esa energía. Algo parecido le pasó a las plantas, así que ahora conozcamos al primo hermano de las mitocondrias, los cloroplastos.



Esquema general de una célula vegetal mostrando sus características distintivas (cloroplastos, pared celular y vacuola)

Panel solar: el *cloroplasto*

En las plantas y algas, aparte de las mitocondrias existe otro tipo de generador de energía muy especializado, los *cloroplastos* (”partícula verde”). Por su estructura, función y ADN circular propio, también se cree que se han adaptado como componentes celulares según la teoría explicada en la sección anterior para las mitocondrias, solamente que en lugar de originarse a partir de una bacteria se cree que derivaron de unas pequeñas algas unicelulares llamadas algas azul-verdes o *cianobacterias*.

La estructura de los cloroplastos es similar a la de las mitocondrias pero un poco más compleja. Posee también una doble membrana -interna y externa-. La membrana interna posee unos discos o sacos apilados en donde se encuentra toda la maquinaria proteica para llevar a cabo la *fotosíntesis*, que es el proceso que permite obtener energía y nutrientes a partir de la luz, la cual es captada por

pigmentos como la *clorofila* y los *carotenoides*, el primero responsable del color verde de las hojas, y el segundo de los tonos rojo-anaranjados de algunos frutos y hortalizas, como el tomate y la zanahoria.

La fotosíntesis y otros procesos asociados, permiten que a partir de los nutrientes básicos que toma la planta del ambiente, junto con el dióxido de carbono del aire, se produzcan nutrientes complejos -como azúcares-, que sirven tanto para el desarrollo vegetal como para alimento de otros organismos, liberándose oxígeno a la atmósfera durante el proceso. Una parte de los azúcares que se producen por fotosíntesis también son utilizados por las mitocondrias para producir energía de la manera que vimos en la sección anterior, ya que las plantas poseen ambos componentes como generadores energéticos, a diferencia de los animales, que no disponen de cloroplastos.

La fábrica más eficiente: *retículo endoplásmico* y *aparato de Golgi*

Al principio de este capítulo ya describimos a estos componentes como eficaces fábricas de proteínas. El primero de ellos, la sección “armado, ensamblado y control de calidad” (o *retículo endoplásmico*), debe su nombre científico a que es justamente un sistema de membranas internas tubulares reticulares. Estas tuberías que abarcan casi todo el interior del citoplasma celular, cumplen varias funciones vitales para la célula.

Una de sus tareas más importantes es la de la síntesis y el plegamiento de proteínas. Ya vimos unos párrafos más arriba que las proteínas son fabricadas a través del pasaje de los mensajeros a través de los ribosomas, proceso que puede ocurrir ya sea en ribosomas sueltos que navegan por el citoplasma, o en ribosomas que se encuentran directamente pegados a la membrana del retículo. En el primer caso, las proteínas sintetizadas son liberadas directamente en el citoplasma, mientras que en el segundo son despachadas al interior de las tuberías del retículo a medida que se van produciendo. Es allí adentro en donde entra en acción una maquinaria muy afinada, que se encarga de “darle forma” a las proteínas, plegándolas de acuerdo a la información que lleva su secuencia, ya que como vimos (ver recuadro titulado **Modelo para armar** en la sección **Paréntesis nuclear 1: funciones del núcleo**), los aminoácidos que las componen difieren en tamaño y carga eléctrica, y eso hace que necesiten “acomodarse” a la nueva estructura que se va formando durante la traducción del mensajero.

Lo maravilloso de este sistema de plegado es que también sirve como punto de control de calidad, ya que aquellas proteínas que no se pliegan correctamente por algún error en la traducción, son eliminadas completamente y se ven impedidas de salir del retículo. De hecho, cuando alguna proteína defectuosa logra escapar, suelen provocarse descalabros irreparables que son típicos de algunas enfermedades humanas en las cuales este sistema de control falla.

Luego de que las proteínas son fabricadas y plegadas, y una vez pasado el “control de calidad” dentro del retículo, la mayoría de ellas sale al citoplasma dentro de *vesículas*, las cuales son desprendimientos de membrana que sirven como transporte entre diferentes partes de la célula. La característica principal de las membranas biológicas -que gracias a los fosfolípidos permiten separar dos ambientes acuosos-, proporciona a las vesículas un espacio interno en el que pueden llevar todo tipo de cosas -como si fueran burbujas rellenas-, de manera que las mismas funcionarían como un "transporte de cargas".

A pesar de la ardua tarea del retículo para producir, plegar y controlar proteínas, a un gran número de ellas todavía se le deben agregar algunos “detalles” finales, necesarios para que puedan cumplir con sus funciones específicas. Estos detalles generalmente consisten en el agregado de azúcares, que muchas veces sirven para que una proteína pueda reconocer a otra, o para que sea capaz de dirigirse a un lugar específico de la célula. Este paso "ornamental" se lleva a cabo en el siguiente componente celular que vamos a describir, la sección de “afinación” o “tuneado”, y que ya hemos mencionado en otro capítulo, el *aparato de Golgi*.

Este “aparato”, que como sabemos lleva el nombre de su descubridor, es una especie de apilamiento de membranas en forma de discos, que tienen el aspecto de varias hogazas de pan de árabe una arriba de la otra. Dentro de esos discos se localizan las enzimas encargadas de “tunear” a las proteínas que vienen llegando desde el retículo, de manera que al terminar de atravesar todos los discos nos vamos a encontrar con proteínas hechas y derechas, listas para comenzar a trabajar en la función para las que fueron destinadas.

Destino proteico

¿Hacia dónde van las proteínas una vez que abandonan el aparato de Golgi? Pueden dirigirse e insertarse en la membrana plasmática -como algunos de los receptores y canales que describimos-, liberarse al exterior, como es el caso de los *neurotransmisores* en el cerebro -que sirven para comunicar a unas neuronas con otras-, algunos *anticuerpos* -necesarios para defendernos de los gérmenes que invaden nuestro cuerpo-, o la *insulina* -que es utilizada para regular el nivel de glucosa en sangre-. Las proteínas terminadas también pueden movilizarse a otros lugares de la célula, como en el caso de las enzimas digestivas de los *lisosomas*, que veremos en la siguiente sección, o como ocurre con algunas de las proteínas que las mitocondrias no pueden sintetizar por sí mismas, o aquellas que se necesitan para duplicar el ADN o producir los mensajeros en el núcleo.

Actualmente se sabe que el aparato de Golgi no se comunica solamente con el retículo o con la membrana plasmática, sino que también tiene intercambio con otros componentes que forman parte del sistema de *reciclado celular*, el cual será nuestra última parada en este apasionante viaje.

¡Hay que reciclar!: *endosomas* y *lisosomas*

En la célula, y generalmente no muy lejos de su superficie, suelen verse grandes vesículas, pero a diferencia de las que vimos más arriba no tienen una función de transporte de cargas, sino que llevan a cabo tareas un poco más complejas en el área de “reciclado”. A estos componentes se los conoce con el nombre de *endosomas* (“cuerpos internos”).

Comencemos con una de sus tareas. En este caso vale recordar a los receptores de membrana, que son las proteínas encargadas de recibir las señales que vienen del exterior celular para traducirlas y transferirlas hacia el interior (ver al principio de este capítulo el recuadro **Puente entre dos mundos**). Este sistema de "llave-cerradura" permite que algo de afuera le indique al interior de la célula lo que tiene que hacer adentro. Esas "cerraduras" -los receptores- pueden volver a utilizarse, pero para ello necesitan que se les quite la "llave" -que puede ser por ejemplo una hormona-. Pero en las células no es un proceso tan simple como “girar y sacar”, ya que las uniones entre el receptor y la hormona son generalmente muy fuertes y estables. Y es aquí en donde hacen su aparición los endosomas.

Luego de que receptor y hormona se unen, y una vez cumplida su función de transmitir la señal al interior celular, el conjunto se separa de la membrana plasmática y se introduce dentro de un endosoma, el cual en su espacio interior posee una “acidez” mayor a la del resto de la célula, lo que permite que el receptor y la hormona puedan separarse con mayor facilidad (ver recuadro **Aflojando un poco**). De esta manera, el receptor puede volver vacío a la membrana para ser reutilizado -de allí lo del "reciclado"-, mientras que generalmente la hormona, que ya cumplió su función, continúa viaje hacia su destrucción, como veremos más adelante.

Aflojando un poco

La “acidez” dentro de los componentes celulares de reciclado es una característica de central importancia. Cuanto más ácido es el contenido dentro de estos espacios, mayores son las posibilidades que dos proteínas unidas fuertemente se separen, o que inclusive se degraden.

Un ejemplo claro del poder de la acidez son las gaseosas cola. Estas bebidas son muy ácidas, y es gracias a esa característica que se las ha usado durante mucho tiempo para aflojar tornillos o despegar calcomanías, de manera similar -aunque en un ejemplo un poco exagerado- a lo que ocurre cuando “se afloja” o “se despega” a la hormona de su receptor. De cualquier manera, esto no es motivo para dejar de beber dichas gaseosas, ya que un efecto similar se puede obtener si se utilizan otros líquidos de alta acidez, como el limón o el vinagre.

No solo las “llaves” de los receptores siguen el camino de la degradación, sino que también objetos extraños que se atreven a entrar a las células -como bacterias, parásitos o virus-, y hasta componentes celulares en desuso -como las mitocondrias “viejas”-, son dirigidos a los compartimientos más ácidos del sistema de reciclado, conocidos como *lisosomas* (“cuerpos destructores”). Estos componentes no solo se caracterizan por su extrema acidez, sino que para asegurarse de destruir todo

lo que les llega, también contienen enzimas digestivas que pueden romper azúcares, proteínas y grasas hasta llevarlos a su mínima expresión. Como para que quede claro que este es un sistema de reciclado, muchos de los productos de esta degradación en el lisosoma –entre ellos nucleótidos y aminoácidos- pueden reutilizarse, por ejemplo para la fabricación de nuevos ADN, mensajeros o proteínas. Queda claro que casi nada se desperdicia en la célula.

Ahora sí, ya hemos hecho nuestro recorrido por el interior de la célula. Ya no quedan más lugares por recorrer -por lo menos no se han descubierto más al momento de escribir este libro-, así que ahora nos vamos a dedicar de lleno a ver cuántos tipos de células existen en nuestro planeta, donde habitan, que similitudes y diferencias poseen, y sobre todo que funciones tienen en la naturaleza o en los organismos de los que forman parte.

CAPÍTULO 4

Una célula, muchas células: la variedad de la vida

Dominios celulares: a falta de núcleo, bueno es un cromosoma

La principal división *taxonómica* de las células, es decir la forma de ordenar a las células en un sistema de clasificación, tiene que ver con un aspecto muy importante de su estructura y conformación. Habíamos visto hace un par de capítulos a las "manchas opacas" de Robert Brown, que fueron luego bautizadas como *núcleos*, los cuales vimos poseen un rol central en el desarrollo y la perpetuación celular.

Pero con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología, se descubrió que no todas las células tienen núcleo. En algunas, las más primitivas, el material genético -el ADN- no está protegido por ninguna membrana y se encuentra directamente dentro del citoplasma. A estas células se las llamó *procariotas*, del griego *pro*=”antes” y *karion*=”nuez o núcleo”, es decir “antes de la existencia del núcleo”. Este nombre -antes del núcleo- sugiere que el núcleo celular evolucionó mucho tiempo después de la aparición de estos microorganismos, dando lugar a lo que posteriormente se conoció como el grupo de los *eucariotas* -del griego *eu*=”verdadero”- que son aquellos que poseen un “núcleo auténtico”.

Básicamente en el primer grupo, el de los procariotas, se ubicó a todas las bacterias, y en el otro grupo al resto, es decir hongos, protozoos –donde se ubican la mayoría de los parásitos que conocemos-, plantas y animales –en donde estamos incluidos nosotros-. Pero con el avance de la biología molecular comenzó a notarse que dentro de los procariotas existían dos grupos de microorganismos que diferían bastante entre sí, no solo en el aspecto genético, sino también al nivel de estructura, composición y metabolismo. Uno de los grupos, llamado *archaea* -del griego "cosa antigua"-, poseía algunas características más similares a las de los eucariotas -a pesar de no poseer un núcleo verdadero- que a las de sus primas las bacterias, por lo tanto a ambos, archaea y bacterias, se los consideró como dos grupos bien diferenciados dentro de microorganismos que antes eran conocidos como procariotas.

Así que a partir de este momento vamos a indagar de qué se trata cada uno de estos grupos y qué características poseen las células que los componen.

Procariotas extremos: las *archaea*

Cuando fueron descubiertas las primeras especies de este grupo, se las catalogó como *extremófilas*, es decir que tienen preferencia para vivir en ambientes extremos. Por ejemplo, estos microorganismos suelen encontrarse en lugares de muy altas temperaturas o de grandes concentraciones salinas. Son

también muy abundantes en el mar, donde forman parte del *plankton*, una de las fuentes de alimento más abundantes de la cual se nutren las ballenas y numerosas especies de peces que habitan los océanos.

Con sus "primas" las bacterias comparten la principal característica de no poseer su ADN dentro de un núcleo aislado dentro del citoplasma. Pero como se mencionó antes, poseen ciertas particularidades que los asemejan a los organismos que sí tienen núcleo, como por ejemplo el parecido que tienen algunos de sus genes, la utilización en sus membranas de un tipo de lípidos particulares, y su aprovechamiento de las diversas fuentes que les ofrece la naturaleza para obtener nutrientes, como el nitrógeno, el azufre o, al igual que las plantas, el carbono, que obtienen a partir del dióxido de carbono de la atmósfera. Y de manera similar a como lo hacen sus verdes parientes lejanos, muchos miembros de este grupo también pueden obtener energía y alimento a partir de la luz solar.

Volviendo a los "extremos", sabemos que algunas especies de este grupo se han descubierto en ambientes cuyas temperaturas pueden superar los cien grados centígrados, como géiseres y pozos petroleros, o en aguas cercanas a su punto de congelación, como en los océanos polares. En el caso de muchas de estas especies extremófilas, su extrema resistencia a las condiciones adversas del medio ambiente se debe a la existencia de una fuerte pared celular, la cual rodea a la membrana plasmática, protegiendo a toda la célula.

Vida extraterrestre

Si bien no todas las archaea viven en lugares extraños, son justamente las "raras" las que obviamente han llamado más la atención. Inclusive hasta hubo quien se atrevió a especular que debido a su gran resistencia a condiciones extremas podrían haber sido capaces de viajar por el espacio en meteoritos, y que de esa manera sería como la vida comenzó en nuestro planeta, una hipótesis sobre la que aún no existen pruebas fehacientes que la apoyen y que es conocida como *panspermia*, la "semilla del todo".

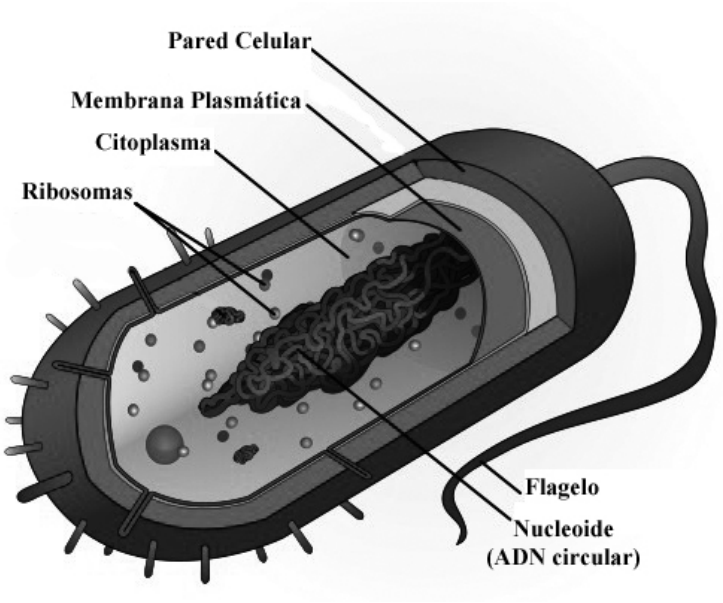
Hasta aquí las principales características de este curioso grupo, que seguramente va a seguir aportando novedades en los próximos años. Ahora pasaremos a sus parientes más cercanos (¿o no?), las bacterias, en donde veremos más detalles sobre las estructuras y la conformación que comparten estas células con las archaea.

Procariotas útiles y malvados: las *bacterias*

En este grupo de organismos unicelulares vamos a encontrar una amplia variedad de formas, hábitats y funciones, al igual que dentro de las archaea, con quienes comparten un papel muy importante en la naturaleza. Si bien muchas veces las incluimos en la categoría "microbios" o "gérmenes", no todas las bacterias son causantes de enfermedades, sino que también pueden trabajar para ayudarnos en múltiples tareas, no solo en la fabricación de bebidas y alimentos

como hemos visto anteriormente, sino también en la elaboración de combustibles -biogás o gases de origen biológico-, descontaminación -degradación de derrames de petróleo en el mar-, minería -extracción de metales como oro, plata y cobre en un proceso llamado *biolixiviación*- y medicina -producción de antibióticos-, entre otros útiles servicios.

Pero antes que nada pasemos a la célula bacteriana en sí. En lo que se refiere a la estructura celular general, las bacterias y las archaea son bastante parecidas. Como hemos visto, una de las características principales de estos dos grupos es que su información genética se encuentra dentro de la célula sin ninguna membrana que lo aísle del citoplasma, es decir que no poseen núcleo -de ahí que ambos sean considerados procariotas-. El ADN, al igual que el de las mitocondrias y cloroplastos que vimos antes –recordemos que las bacterias podrían ser sus antecesoras-, suele ser circular, mientras que el resto de su citoplasma no posee componentes especializados, con contadas excepciones.



Características principales de la célula bacteriana

Muchas de las funciones metabólicas de las bacterias, sobre todo aquellas que involucran la producción de energía, son realizadas en su membrana plasmática, lo que se asemeja bastante a lo que ocurre en las mitocondrias. En muchas bacterias, además de esa membrana existe lo que se conoce como *pared bacteriana*, que es una estructura muy densa y resistente que recubre al microorganismo protegiéndolo del ambiente externo.

Si bien la mayoría de las bacterias se multiplican por división, muchas de ellas, cuando se presentan condiciones adversas en el medio que las rodea, forman lo que se conocen como *endosporas*. Ya las hemos mencionado cuando se trató el tema de Pasteur y el ántrax, y vimos que podían permanecer mucho tiempo en el suelo y producir el contagio del ganado que las consumía. Estas estructuras son capaces de resistir las condiciones más extremas que se puedan imaginar, como calor, sequía, radiación, ¡y hasta el vacío del espacio exterior!, alimentando una vez más la teoría de que la vida a la Tierra llegó desde otra parte del universo.

Las formas de las células bacterianas pueden ser de lo más variadas, pero las más abundantes son las esféricas, conocidas como *cocos*, y las cilíndricas, llamadas *bacilos*. Existen también otras con estructura en forma de tirabuzón -como las *espiroquetas* que causan la sífilis-, y alguna que otra modificación de todas estas formas básicas. Si bien son organismos unicelulares, las bacterias pueden formar estructuras multicelulares a través de la creación de cadenas o racimos, e inclusive acumularse en varias capas formando lo que se conoce como *biofilm*, que es el caso de la *placa dental* que se constituye cuando se descuida el cepillado de los dientes, llevando con el tiempo a la formación de sarro y caries.

Algo huele mal

No toda interacción entre las bacterias y nosotros se refleja en enfermedades, sino que también puede ser beneficiosa. El mejor ejemplo es lo que se conoce como la *flora intestinal*. Dentro de nuestro intestino habitan muchísimas especies de bacterias y archaea, cuyas funciones nos permiten digerir alimentos que por nuestra cuenta no podríamos, como algunos azúcares complejos. Un ejemplo de esto último es la *rafinosa*, que abunda en los porotos (alubias o frijoles), la cual es fermentada en nuestro intestino por la flora bacteriana, produciendo un volumen más que incómodo de gases -¿quién no hizo alguna vez chistes de porotos y flatulencias?-.

Bueno, como ya hemos visto bastante de las bacterias patógenas o causantes de enfermedades en el capítulo dos -con Pasteur y Koch-, hagamos otro pequeño salto en la evolución y avancemos a los siguientes y más complejos tipos celulares: los eucariotas.

Eucariotas sencillos: *protistas* y *hongos*

Protistas

Los protistas -cuyo nombre proviene del griego *protiston* y quiere decir “el primero de todos”- son en su mayoría unicelulares y microscópicos, pero existen algunos que son capaces de establecer grandes grupos de células que pueden llegar a formar estructuras de hasta ¡cien metros de largo!

La reproducción de los miembros de este grupo es generalmente por división-algunos forman esporas-, al igual que archaea y bacteria. A diferencia de estos últimos, y obviamente al ser eucariotas, poseen su ADN dentro de un núcleo, y además la mayoría tienen la particularidad de poseer algún tipo de componentes internos,

Algas para crecer bacterias

Algunas *algas rojas*, aparte de servir como alimento en determinadas culturas, son también la fuente del previamente mencionado *agar-agar*, descubierto por uno de los ayudantes de Robert Koch, y que es la sustancia gelatinosa que se viene utilizando desde hace varias décadas para solidificar los medios de cultivo que se usan para crecer bacterias en el laboratorio.

como por ejemplo mitocondrias y/o cloroplastos, aunque usualmente no tienen aparato de Golgi.

Los protistas suelen clasificarse en tres grupos, los que “se parecen” a las células animales, llamados *protozoa* -“el primer animal u organismo”-, aquellos quienes “se comportan” como plantas, conocidos como *algae*, y los que “se asemejan” a los hongos, denominados *mohos*.

Entre los “similares” a los animales tenemos a los *flagelados*, en donde podemos encontrar muchos parásitos, como los causantes de la enfermedad de Chagas -*Trypanosoma cruzi*- y de la enfermedad del sueño -*Trypanosoma brucei*-.

Los que se “asemejan” a las plantas poseen la capacidad de producir oxígeno gracias a pigmentos que participan en la fotosíntesis, sobre todo la clorofila y los carotenoides, a los que ya vimos en la descripción de los cloroplastos en el capítulo tres. Es en este grupo donde podemos encontrar a los *dinoflagelados*, que quizás no suene mucho por el nombre pero sí por ser los principales causantes de las “mareas rojas”, que se dan en las zonas costeras e impide el consumo de frutos de mar debido a la toxicidad de estos protistas. Otros miembros notorios de este grupo son las *algas marinas*, que en agua salada pueden formar estructuras de varios metros de largo, y a las cuales se las divide en *algas rojas* y *algas pardas*.

Y finalmente tenemos a los protistas que “parecen” hongos, es decir los *mohos*. Las células que forman parte de estos organismos pueden vivir aisladas o agruparse en grandes estructuras gelatinosas que se alimentan de los restos en descomposición del suelo, e inclusive son capaces de formar esporas cuando las condiciones no son favorables. Si bien no son muy conocidos entre nosotros, en Irlanda han declarado a uno de sus miembros “persona no grata” (ver recuadro **Mala fama**)

Mala fama

Uno de los miembros más famosos entre los *mohos* es la *Fitóftora*, debido a que este protista fue el causante de una de las hambrunas más desastrosas del siglo XIX. Resulta que por aquellas épocas, los campesinos irlandeses basaban gran parte de su dieta en la papa, debido a que es un cultivo altamente rendidor que resiste el agreste clima de la región, mientras que los otros cultivos -trigo, maíz- se los quedaban los dueños de la tierra -en su mayoría aristócratas británicos-, quienes exportaban gran parte de esos granos a Inglaterra.

En 1845, los cultivos de papa se infectaron con *Fitóftora*, perdiéndose la cosecha por completo, y sumiendo ese año y el siguiente a la mayoría de la población de Irlanda en una de las mayores hambrunas de las que la humanidad tenga memoria. Entre los muertos -más de un millón- y los emigrados -otro millón más-, solo las tres cuartas partes de la población de Irlanda sobrevivieron al desastre. Al día de hoy, este “famoso” protista sigue trayendo problemas a los cultivos de papa y de otras hortalizas de la región.

Ahora sí, pasemos a los verdaderos hongos, que también pueden hacer estragos, pero que además nos dan los antibióticos y algunos dan muy buen sabor a las comidas.

Hongos

A partir de los hongos, comienzan a aparecer los verdaderos organismos multicelulares, aunque también existen unicelulares en este grupo, como nuestras viejas amigas las levaduras.

Si bien dentro de los protistas -sobre todo en las algas- también pueden observarse estructuras formadas por muchas células, estas nunca pierden su identidad individual, ni tampoco forman grupos dentro del organismo que posean funciones independientes del resto, como ocurre con los tejidos. Por lo general se define como tejido a agrupamientos de células que poseen una misma función, y si bien quienes lo componen pueden no ser idénticos, el origen de todas aquellas células que forman un tejido en particular es siempre el mismo.

Es a partir de este grupo donde comienzan a aparecer todos los componentes celulares juntos dentro del citoplasma, tal y como los ha sido descrito en el capítulo anterior. Justamente es en los hongos que comienzan a aparecer las estructuras membranosas complejas como el retículo endoplásmico y el aparato de Golgi, las mitocondrias dicen presente todo en tiempo, y los componentes del sistema de reciclado empiezan a mostrar su verdadera función.

Las diferencias más notorias entre las células de los tres últimos grupos que describiremos se van a notar más que nada en sus paredes celulares y en el grado de especialización y complejidad que irán adquiriendo las células a medida que avancemos en la evolución de los organismos de las cuales forman parte. Con respecto a la pared celular -que rodea a la membrana plasmática de la célula-, tanto la de las algas protistas como la de las plantas está formada esencialmente por *celulosa*, mientras que la de los hongos tiene como componente principal a la *quitina*, que también aparece en las cubiertas de insectos, cangrejos y langostinos (ver recuadro **Construyendo paredes**).

Construyendo paredes

En realidad, la ensalada de paredes celulares entre protistas, insectos y plantas no sería tan rara como aparenta, ya que muchos componentes estructurales -como la celulosa y la quitina- provienen todos de un mismo azúcar, la glucosa, que al formar largas cadenas consigo misma o con alguno de sus derivados, genera estructuras de extrema fortaleza e impermeabilidad, pero a su vez bastante flexibles.

De cualquier manera, es importante aclarar que las células animales no poseen pared, y que la quitina que le da dureza a los caparazones de los cangrejos o a las alas de las cucarachas, forma parte de un revestimiento no celular –una especie de “coraza”- que les sirve a estos animales como un esqueleto externo a falta de uno interno.

Como los hongos no pueden producir su propio alimento -al contrario de las plantas-, utilizan la materia orgánica circundante para obtener los nutrientes necesarios para vivir. Por lo general sueltan enzimas que degradan esa materia orgánica -por ejemplo sobre troncos de árboles, hojas secas, etc.-, absorbiendo luego las moléculas simples resultantes -los nutrientes- a través de unas estructuras específicas que muchas veces se parecen en aspecto a las raíces de

las plantas. Estas estructuras especializadas están constituidas por un agrupamiento de células en fila conocido como *micelio*, el cual también puede formar parte de la "pelusa" que distingue a los *penicillium* fabricantes de penicilina, o puede ser utilizado para construir hermosos, y a veces peligrosos, "hongos de sombrero".

A partir de este grupo aparece la *reproducción sexual*. Hasta ahora hemos visto que la reproducción típica -si bien no le habíamos puesto nombre- es la *asexual*, que se basa principalmente en la división celular y/o la formación de esporas. Si bien en la mayoría de los hongos podemos encontrar este tipo de propagación -como vimos con las levaduras, que se multiplican por división-, también pueden reproducirse a partir de la formación de células reproductoras o *gametas*, las cuales vimos se producen a través del proceso de la *meiosis*, En los hongos el producto final de su reproducción son las esporas, por lo tanto podemos afirmar que existen esporas sexuales -en los hongos- y asexuales -en las bacterias.

Entre las especies más conocidas de hongos tenemos a las ya famosas levaduras, los *penicillium*, las *cándidas* -responsables de muchas infecciones orales y genitales en humanos- y las *trufas* -uno de los alimentos más caros y *gourmet* del planeta-, y por supuesto a la gran mayoría de los hongos de sombrero que conocemos.

En la próxima sección descubriremos a los organismos más evolucionados en cuanto a la complejidad celular, ya que son aquellos que generalmente poseen todos y cada uno de los componentes que fueron descritos en el capítulo anterior. Es a partir de las plantas y de los animales que las células van a adoptar todo tipo de formas y tamaños de acuerdo al trabajo que la naturaleza les ha asignado.

Los primos sean unidos

Uno de los mejores ejemplos de colaboración entre organismos de distintos grupos son los *líquenes*. Esta forma de vida está compuesta por un hongo -quién provee agua, minerales y una estructura resistente y protectora gracias a su micelio- y por un organismo fotosintético -generalmente un alga verde o *cianobacteria*-, el cual se integra dentro del "armazón" que ofrece el hongo. El alga, por medio de la fotosíntesis, suministra los azúcares que son utilizados por ambos integrantes de esta "cooperativa" como fuente de energía.

Eucariotas complejos: *plantas* y *animales*

Plantas

Las células de las plantas son bastante parecidas a las de los animales, con una serie de diferencias claves, como el hecho que además de mitocondrias poseen cloroplastos, suelen tener vacuolas de gran tamaño (ver recuadro **Almacén y sostén**) -que mantienen el tono o turgencia de los tejidos-, como ya

vimos están cubiertas por una pared celular formada principalmente por celulosa -las células vecinas se comunican por perforaciones en las paredes que las unen-, y poseen una mitosis con algunas características particulares.

En el aspecto que se relaciona con el tipo de células y los tejidos que estas forman, las plantas deben ser los organismos más ordenados que existen. En el fondo es bastante simple, ya que existen tres tipos básicos de células vegetales organizadas de diferentes maneras y que, con algunas variantes en sus formas, tamaños y colores, dan lugar a todos los *tejidos* que forman una planta hecha y derecha,.

Almacén y sostén

Un componente celular bastante característico de hongos y plantas y que no hemos visto en el capítulo tres es la *vacuola*. Reciben este nombre, bastante amplio en su aplicación de por cierto, grandes vesículas que pueden llegar a ocupar hasta el 80% del volumen de la célula que las contiene. Dependiendo donde se encuentren, sus funciones son muy variadas, pero en general pueden servir para aislar productos residuales que podrían llegar a ser tóxicos, también para almacenamiento de agua y/o nutrientes, y hasta para darle turgencia a las células, permitiendo el sostén de grandes estructuras, como ocurre con las hojas y los tallos.

Primero empecemos por lo que nos interesa, las células. Como se comentó en el párrafo anterior, las plantas se las arreglan bastante bien con tres tipos celulares básicos. El primero de ellos está muy relacionado con el sistema vascular de la planta –que veremos en detalle más adelante-, pero posee además otras múltiples funciones, como contener al complejo que realiza la fotosíntesis en las hojas, almacenar proteínas y azúcares en grandes vacuolas -son las células mayoritarias en las frutas-, mantener las reservas de agua y gases -esto último en plantas acuáticas que necesitan flotabilidad-, y reparar heridas en los tejidos.

El sostén de las plantas está a cargo de los otros dos grupos de células, El primero de ellos tiene sus paredes muy engrosadas, y sus integrantes son generalmente alargadas y forman “paquetes” compactos que le dan a la estructura final la rigidez necesaria para mantener a la planta bien firme, aunque también tienen la flexibilidad necesaria para permitir el crecimiento. El otro grupo de células de sostén es parecido al anterior, con la gran diferencia que generalmente están muertas y que poseen un engrosamiento mayor de la pared gracias a la presencia de la *lignina* (del griego *lignus*=madera). Son las que le dan a las plantas una mayor protección ante las inclemencias del ambiente -viento, lluvia, predadores, bacterias-, ya que las estructuras que forman son altamente resistentes e impermeables, como es el caso de la corteza de los árboles.

Aparte del tejido de sostén de la planta existe también un tejido *epidérmico* (“arriba de la piel”), que es por lo general extremadamente delgado y está formado por células cubiertas por una *cutícula* compuesta de *ceras vegetales*, la cual sirve también para proteger a la planta, ya que cubren todo su cuerpo -tallo, raíz y hojas-.

Así como nosotros tenemos un sistema vascular (del latín *vascellum*=vaso sanguíneo) que transporta nuestra sangre, las plantas también lo tienen para movilizar diferentes componentes a lo largo de toda su estructura. El floema ("corteza") es el encargado de transportar los productos elaborados a partir de la fotosíntesis –que se conocen como *savia elaborada*- hacia el resto de la planta, sobre todo a aquellas partes que no pueden producir su propio alimento, como las raíces. En cambio, el xilema ("madera") posee el importante papel de movilizar el agua y los nutrientes -la *savia bruta*- desde la raíz hacia el resto de la planta.

Plantas con bocas y pelos

Dentro de las células epidérmicas existen algunas que han sufrido modificaciones debido a las funciones específicas que llevan a cabo: los *estomas* y los *tricomas*. Los estomas ("boca" en griego) están conformados por dos grandes células -que le dan el aspecto de dos grandes labios-, que al variar su volumen permiten abrir y cerrar el espacio entre ellas para habilitar o impedir el intercambio gaseoso con la atmósfera. Los tricomas ("crecimiento de pelo") son justamente estructuras que se asemejan a pelos y que sirven para varias tareas, como la protección y la absorción -los típicos "pelos" de las raíces-.

La división celular de las plantas, al ser eucariotas, se lleva a cabo a través de la mitosis, pero como se dijo más arriba posee unas pequeñas diferencias propias de las plantas, ya que la separación de las células hijas se ve dificultada por la presencia de la rígida pared celular que cubre a los citoplasmas vegetales. Para solucionar este problema, las plantas se las han ingeniado de una manera bastante particular.

Durante las últimas etapas de la mitosis se van acumulando membranas en la región media de la célula que se está dividiendo, las cuales son utilizadas para crear lo que se conoce como *placa celular*, la cual crece hasta hacer contacto con la pared, dividiendo así a la célula original en dos células hijas. Partes del retículo encargado de fabricar proteínas atraviesan los poros que se forman en esa placa celular, dando lugar a una estructura continua que permite la comunicación fluida entre las dos células que se originaron, una característica particular que solo poseen las células vegetales.

Ahora vamos a dar un gran salto evolutivo -o no tanto- y vamos a conocer a las células más estudiadas, más caracterizadas y más complejas que existen en la naturaleza, que son las células animales.

Animales

Para empezar, ¿qué diferencia a los animales -y a sus células- del resto? Por lo pronto sabemos que son eucariotas, que no pueden producir su propio alimento -a diferencia de las plantas y las algas-, que no poseen paredes que rodeen a sus células, y que además son móviles -o por lo menos lo son durante un período de su vida-.

Como en las plantas, en los animales las células también se agrupan formando tejidos. A su vez, múltiples tejidos pueden formar *órganos*, los cuales poseen funciones más complejas y variadas. Los tejidos básicos de los animales pueden dividirse en los cuatro grupos que veremos a continuación.

El tejido *conectivo*, tal cual su nombre lo indica, tiene como función básica "conectar", ya que se encarga del sostén y unión de los otros tejidos que forman a un individuo, y además les da forma y soporte a los órganos constituidos por esos mismos tejidos. La función del conectivo se ve apoyada gracias a sustancias que expulsan las células al exterior y que forman lo que se conoce como *matriz extracelular*. Ejemplos bien extremos de este tipo de tejido son los huesos y la sangre de nuestros cuerpos, en donde las "matrices" que los forman varían en sus componentes, dándole al primero extrema rigidez y al segundo una gran fluidez. También entran en este grupo el tejido *adiposo* -la grasa-, los tendones y los cartílagos.

El segundo tejido, el *epitelial*, es una gran barrera selectiva que protege a los organismos por fuera y también por dentro. No solamente da lugar a la piel de los animales, sino que también -y aquí viene lo de la protección "por dentro"- recubre a los órganos internos, incluyendo intestinos, estómago, riñón, venas, arterias, vejiga, y al espacio que contiene a todos los órganos que se encuentran dentro del tórax y del abdomen.

El tejido epitelial puede tener una sola capa o varias. Dentro de los de una capa podemos encontrar cuatro tipos de tejidos que tienen que ver más que nada con la forma de las células que lo componen. Tenemos a los que constituyen los capilares sanguíneos y los alvéolos de los pulmones -todos en capas bien delgadas para permitir el intercambio del oxígeno con el dióxido de carbono-; aquellos que establecen a las glándulas salivales, los riñones y el páncreas -que permiten la secreción al medio externo de muchas proteínas útiles-; los que recubren las paredes del estómago y del intestino delgado –con alto poder de absorción-; y los tejidos típicos de las vías respiratorias -bronquios, tráquea, cavidad nasal-, que sirven para expulsar fuera del cuerpo cualquier objeto extraño que penetre por ellas.

Cuando el tejido epitelial forma varias capas, generalmente lo hace para proteger al individuo de agresiones externas. El caso más típico es el de nuestra piel, formada por numerosas capas de células epiteliales, en donde las más externas están muertas -pierden núcleo y citoplasma- y poseen grandes cantidades de una proteína muy resistente llamada *queratina*, la que hace que la piel sea por sobre todas las cosas impermeable al agua.

El tercer tejido característico de los animales es el *nervioso*. Tiene como función principal captar los diferentes estímulos que recibe un organismo, para luego analizarlos de manera de proveer una respuesta apropiada y coordinada en relación a los mismos.

El cerebro, la médula espinal y cada nervio de nuestro cuerpo están formados por tejido nervioso. Las células más importantes que lo componen son las *neuronas*, que se encargan de conducir los impulsos nerviosos, los cuales se

encargan de transmitir información desde los órganos sensoriales que reciben los estímulos –localizados en la piel, los ojos, la lengua, el oído, las fosas nasales, etc.- hasta el *sistema nervioso central* -cerebro y médula espinal-. Las neuronas también tienen el trabajo de transportar la respuesta a esos estímulos desde el sistema nervioso central –que toma las decisiones- hasta los órganos que llevan a cabo la acción, como por ejemplo los músculos.

Una de las formas más típicas de las neuronas es la que recuerda a una especie de “estrella” con varias puntas, una de las cuales se prolonga a grandes distancias, como si fuera un largo y único “cable”. Y lo de cable no es una exageración, ya que es por esas prolongaciones -que pueden llegar a medir un metro en el ser humano y hasta cinco en una jirafa- por los que viaja el impulso nervioso -en forma de electricidad- desde diferentes partes del cuerpo y a grandes velocidades. Nuestro cerebro posee aproximadamente cien mil millones de neuronas -un uno con once ceros detrás-, y cada una de ellas puede conectarse a su vez con otras mil a diez mil “colegas”, ya sea tanto para recibir como para enviar información. De esta forma se calcula que el número de conexiones, solamente en el cerebro humano, llega a la friolera suma de cien billones, es decir ¡un uno con catorce ceros detrás!

El último tejido característico de los animales es el *muscular*, el cual se divide a su vez en tres tipos principales, cada uno de los cuales tiene células particulares con funciones exclusivas. Estos tipos de tejido muscular son conocidos como *músculo esquelético*, *liso* y *cardíaco*.

El primero, el *esquelético*, es el más abundante de todos y el único que podemos controlar voluntariamente. Es el que nos mantiene en posición erecta y el que nos da movimiento a través de su unión -mediante los *tendones*- con los huesos de nuestro cuerpo.

De músculos y ratones

El origen de la palabra “músculo” es bastante curioso. Parece que a los antiguos griegos, que eran muy observadores, les llamaba la atención el movimiento de los músculos de sus atletas durante los juegos, ya que para ellos se parecía mucho al desplazamiento de un ratón por debajo de la piel. Como la palabra ratón en griego es *mus*, llamaron al tejido *musculus*, que quiere decir “pequeño ratón”, término que fue adoptado por los romanos en el latín, y que llegó a partir de ese idioma al nuestro y a muchos otros.

El *músculo liso*, a diferencia del esquelético, es involuntario, lo que significa que no se puede controlar en forma consciente. Las contracciones de estos músculos pueden ser largas y hasta permanentes, y son justamente las que permiten que muchos de los sistemas internos de los animales (ver recuadro **Máquina automática**) funcionen a la perfección sin que nos demos por enterados.

Por último tenemos al *músculo cardíaco*. Como su nombre lo indica, es específico del corazón, y justamente tiene la gran responsabilidad de producir y regular los latidos del mismo para hacer circular la sangre por nuestro cuerpo, y al igual que el músculo liso, es también involuntario. Las células que forman este

tejido son conocidas como *cardiocitos*, los cuales son capaces de seguir latiendo aun estando fuera del corazón.

Pues bien, hemos llegado al final de la descripción de las células que dan vida a los organismos que habitan a este planeta. En la última parte nos vamos a detener un poco en las características de algunas de las células más especializadas del cuerpo humano.

Maquinaria automática

Aunque no nos demos cuenta, el músculo liso siempre está trabajando. Nuestros sistemas digestivo -esófago, estómago, intestinos-, excretor -vejiga y uretra-, reproductor femenino -útero, sobre todo durante el parto-, respiratorio -bronquios-, circulatorio -regulación de la presión arterial-, y hasta la "piel de gallina" -músculos que levantan los pelos de la piel-, funcionan de manera autónoma gracias a este tipo de tejido muscular.

Un capítulo aparte: las células de nuestro cuerpo

Si bien a las células de los animales fueron divididas en cuatro grupos dependiendo de los tejidos de los que forman parte, está claro que existen muchos otros tipos dentro de esas categorías que pasaron a tener funciones muy especializadas, e inclusive en muchos casos su localización se limita a un pequeño sector y no a casi todo el cuerpo como pasa por ejemplo con los tejidos epitelial y el músculo esquelético.

Si nos basamos en aspecto, tamaño, función y otras características particulares de las células, podemos considerar que existen más de doscientos tipos celulares en el cuerpo de un ser humano adulto. Describiremos solo algunas de acuerdo a sus funciones principales.

Almacenamiento

¿Cómo puede ser que muchas veces nos salteamos alguna comida y a pesar de ello no nos desmayamos de hambre? Pues bien, para eso tenemos células cuya principal función es almacenar algunos materiales que pueden servir como fuente de energía en momentos de necesidad. Entre las más conocidas están los *adipocitos* ("células grasas"), que guardan en su interior una inmensa gota de grasa, que es de un tamaño tan grande que deja al núcleo aplastado en un rincón. Cuando es necesario, esa grasa es utilizada como combustible por los músculos, el corazón y el hígado, en este último caso para producir azúcares.

Otro representante de los "almacenadores" es el *hepatocito*, que es una de las células típicas del hígado. Si hay una célula que trabaja sin parar y que elabora cientos de componentes diferentes, ese es el hepatocito. Se encarga de producir muchas proteínas para el resto del cuerpo, como por ejemplo algunos de los factores que permiten la coagulación sanguínea, y la *transferrina*, que se encarga de controlar el nivel del hierro en la sangre.

Secreción

Algunas células epiteliales tienen función *secretoria*. Esto quiere decir que este tipo de células son capaces de expulsar al medio externo componentes que se producen en su interior, ya sea para que puedan ser utilizados por otras células adyacentes, o para que viajen por el torrente sanguíneo a partes alejadas del cuerpo y así poder actuar sobre algún tipo de célula particular.

Existe un gran número de células especializadas que por ejemplo secretan hormonas, las cuales son las responsables de regular un gran número de procesos que se llevan a cabo en nuestro cuerpo. En este grupo podemos encontrar a algunas células que forman parte del sistema digestivo -por ejemplo el páncreas que produce la *insulina*-, varias glándulas, como la tiroides en el cuello, y aquellas que se encuentran en los órganos reproductores y que producen las hormonas específicas para cada sexo.

Fluidos y otras yerbas

Otras células que secretan diferentes sustancias en nuestro cuerpo son las de las glándulas salivales en la boca, las que producen las lágrimas en los ojos, la cera de los oídos, la próstata que produce el semen -al cual se unirán luego los espermatozoides-, las productoras del moco en la nariz, las gástricas -que producen el ácido en el estómago-, y las que secretan la leche en las glándulas mamarias.

Entre los procesos que son regulados por las hormonas tenemos al hambre, la sed, el sueño, la temperatura corporal, el crecimiento, la producción de leche en glándulas mamarias y la respuesta al estrés.

Cemento celular

Como se vio anteriormente al describir al primer tejido animal, el conectivo, muchas células secretan sustancias que forman lo que se conoce como *matriz extracelular*. En muchos casos, los componentes de esta matriz forman armazones de una dureza extrema, y es gracias a ello que podemos disfrutar de estructuras muy sólidas en nuestros cuerpos. Los *osteoblastos* son células que secretan una proteína muy resistente llamada *colágeno*, la cual combinada con algunos minerales -como el calcio y el magnesio- dan lugar a nuestros huesos. La combinación de mismo colágeno con azúcares da lugar al tejido *cartilaginoso*, que abunda en las uniones entre los huesos y le da forma a nuestra nariz y orejas. Y si se mezclan otras proteínas diferentes al colágeno pero con los mismos minerales que componen al hueso, lo que se obtiene es el fuerte esmalte que recubre nuestros dientes.

Sangre y sistema inmune

A partir de un tipo celular común que se localiza en la *médula ósea* –el "caracú" de los huesos- se origina la gran variedad de células que pueblan nuestra sangre, entre ellas los *glóbulos rojos* -que transportan el oxígeno y carecen de núcleo- y los *glóbulos blancos* o *leucocitos* -que forman parte del *sistema inmune*-.

A su vez, los glóbulos blancos poseen una gran variedad de formas y funciones, y son una de las grandes barreras defensivas que posee nuestro cuerpo para protegerse de ataques externos -virus, bacterias, hongos y parásitos- e internos -tumores-, pudiendo destacar entre este grupo de células a los *linfocitos*, un ejército de eficientes soldados que son indispensables a la hora de una defensa coordinada, eficiente y permanente en el tiempo (ver recuadro **Línea de defensa**). Otros grupos de glóbulos blancos son capaces de liberar sustancias tóxicas que sirven para matar parásitos, también participan en las reacciones inflamatorias relacionadas con las alergias, o se encargan de comerse toda la "basura" que queda dispersa en una herida luego de que una infección ha sido eliminada con éxito.

Línea de defensa

Existen dos tipos principales de *linfocitos*, los llamados *células B*, que son las encargadas de producir anticuerpos contra amenazas externas, y los denominados *linfocitos T*, que a su vez se dividen en "escuadrones" especializados con funciones tan variadas como dirigir y activar a otras células inmunes, matar tumores y células infectadas con virus, o recordar infecciones anteriores –es el caso de los *linfocitos T de memoria*- para poder responder más rápido en caso que el invasor tenga la osadía de atacar de nuevo.

Sensoriales

Mucho se ha hablado acerca de los cinco sentidos que poseemos, y por algo se los considera tan especiales. Algo tan delicado y complejo como la vista, el olfato, el gusto, el oído y el tacto no podía dejar de tener células características para cada caso.

La visión posee dos de los tipos celulares más especializados que existen. Estas células son *fotoreceptoras* -es decir que captan la luz-, y a partir de ellas se inicia una serie de impulsos nerviosos que dan lugar a la formación de las imágenes en nuestro cerebro. El primer tipo celular es conocido como *bastones*, células extremadamente sensibles a la luz, por lo cual tienen un papel muy importante en la visión nocturna. Los bastones se localizan en los bordes externos de la retina -al fondo del ojo-, lo que les otorga también un rol central en la visión periférica. El otro tipo celular que participa de este sentido son los *conos*. Estos se encuentran en la región central de la retina y son menos sensibles a la luz que los bastones, encargándose principalmente de la visión del color.

Para que no se nos canse la vista, pasemos brevemente al olfato. En el *epitelio olfatorio* -bien al fondo de nuestras narices- existen neuronas que poseen receptores en su superficie que son capaces de reconocer hasta diez mil diferentes moléculas, las cuales corresponden a los diversos olores que nos rodean. Estas moléculas se disuelven en el moco que cubre al epitelio, y de esta manera toman contacto con los receptores, iniciándose así una señal cuyo producto final -el reconocimiento del olor- dependerá de la combinación de receptores que se hayan activado, ya que los olores generalmente están formados por más de una molécula.

Antes que esto tome mal olor, pasemos al gusto. En la lengua poseemos estructuras que se conocen como *papilas gustativas*. En ellas se localizan los receptores que son capaces de reconocer a los cinco elementos básicos que conforman la percepción del gusto: dulce, salado, amargo, ácido y *umami* (ver recuadro **El quinto elemento**)

Una vez que los componentes del alimento disueltos en la saliva toman contacto con su correspondiente receptor, se producen las señales nerviosas que le indican a nuestro cerebro el sabor de la comida. Por supuesto que todo esto se da en combinación con los receptores olfatorios que vimos antes, para de esta manera dar una mayor dimensión a la experiencia de comer, a través de la combinación de los gustos y los aromas que le proporcionan sus características particulares a cada comida.

El quinto elemento

A muchos podría llamarles la atención que exista un sabor llamado *umami*, pero desde 1985 fue aceptado como una variedad diferente al famoso “cuarteto” de la degustación. Este gusto lo podemos encontrar en aquellos productos que poseen un aminoácido -recordemos que son los bloques que componen a las proteínas- conocido como *glutamato*. Pero con ello solo no alcanza, sino que también deben estar presentes en la composición de estos alimentos los *ribonucleótidos*, que son las unidades esenciales que se utilizan para producir los mensajeros que codifican a las proteínas.

El nombre de este sabor no proviene ni del griego ni del latín, sino del japonés, y quiere decir algo así como “sabroso de gusto agradable”.

¿Y qué alimentos poseen este sabor? Generalmente se lo puede encontrar en carnes -pescado, mariscos y carnes curadas en sal-, vegetales -tomates maduros y apio-, hongos y productos fermentados –quesos y salsa de soja-.

Para no quedarnos con un mal sabor en la boca, sigamos con el oído. Hasta ahora hemos lidiado con señales conocidas, ya sean moléculas de luz o componentes químicos –como los que forman parte de los aromas y del sabor-, pero ¿cómo transformar el sonido en una señal que reconozca nuestro cerebro? Pues bien, la naturaleza es sabia y se las ingenió bastante bien para hacerlo. Dentro del oído interno existen estructuras celulares muy pequeñas que vibran cuando les llega un sonido, lo cual activa directamente a un grupo de neuronas asociadas que llevarán esa señal al cerebro. Estas células poseen diferente sensibilidad a las diversas frecuencias que reciben, lo que hace que respondan de manera muy variada a los sonidos que les llegan,

permitiéndonos captar leves susurros, reconocer una voz entre muchas, o inclusive diferenciar notas individuales en una sinfonía.

Finalmente, y antes de quedarnos sordos, llegamos al último de los sentidos, el tacto. La mayoría de los receptores que forman parte de este sentido están en la superficie de la piel, pero también se los puede encontrar asociados a varios órganos de nuestro cuerpo. Entre ellos tenemos a los *mecanoreceptores*, que en sus muchas variantes son capaces de detectar desde un simple roce, hasta presión, estiramiento y vibraciones en la piel. También pueden detectar por separado el calor o el frío, y son los que nos informan de la posición de cada parte de nuestro cuerpo y, junto con otros sentidos, nos demuestran la profundidad y el contorno de las cosas que nos rodean, como ocurre cuando metemos una mano en un bolsillo o una cartera y detectamos cada elemento que contienen sin necesidad de verlo.

Cuando los estímulos pasan a ser extremos -presión excesiva, calor o frío intenso, sustancias químicas penetrantes, como las de algunas especias picantes-, los que se activan son los *receptores del dolor*. Estos receptores cumplen la función de proteger al cuerpo, ya que el dolor es una señal que sirve para darnos cuenta que algo nos está afectando y que de ser posible debemos alejarnos de su influencia nociva. Todos estos receptores, al ser estimulados, producen señales que viajan a través de las neuronas del sistema nervioso para dar lugar a una respuesta, que va a depender tanto del estímulo como del receptor que ha sido activado. Está claro que no se reacciona igual a una caricia que a un pinchazo, o al calor de una frazada en invierno que a la llama de un fósforo directamente sobre nuestros dedos.

EPÍLOGO

Hemos llegado al final de este libro, esperando que ahora conozcan aunque sea un poco más sobre la maravillosa célula. Numerosas cosas han quedado en el tintero, pero muchas veces hay que saber elegir prioridades porque el espacio es limitado, y la paciencia del lector también lo es.

En el prólogo se menciona una frase en relación a la célula: "…las hace funcionar de una manera cercana a la perfección." Justamente, pareciera que las células que hemos descrito en este libro, desde la más sencilla hasta la más compleja, funcionan perfectamente, como un mecanismo de reloj suizo. Por lo general eso ocurre así, pero como se imaginarán, muchas veces dentro de los millones de células que posee un individuo -sobre todo los muy complejos como los seres humanos-, es probable que una sola -y pueden estar seguros que con eso basta- comience a fallar, y que ello pueda conducir al colapso del organismo entero.

Haría falta otro libro así de gordo para describir lo que ocurre cuando las células se equivocan o vienen falladas de fábrica, y las consecuencias que ello puede traer. La mayor parte de los errores ocurren a nivel de la información, como puede suceder con una computadora que ante la falla de su sistema operativo o de la existencia de algún programa erróneo deja de funcionar. En el caso de las células es aun mucho más complejo, porque esa misma información -que no es otra cosa que la que acarrea el ADN de nuestros genes-, es la que se necesita no solo para que la computadora -en este caso nuestro cuerpo- funcione correctamente, sino también para fabricarla, para que se desarrolle normalmente y para que crezca sin problemas.

Los errores en el ADN pueden aparecer por diferentes motivos, y la mayoría de las veces la misma célula los corrige, pero otras pasan desapercibidos o son irreparables. Aquellos que pasan desapercibidos -¿se acuerdan del color de las flores de Mendel que aparecían recién en la segunda generación?-, muchas veces se transmiten de forma "silenciosa" de generación en generación, hasta que la combinación adecuada ocurre para que se den a la luz. Un gran número de estos errores forman parte de lo que se conoce como enfermedades hereditarias, que en algunos casos son más visibles -y por ende previsibles-, pero que en otros se mantienen ocultas por muchos años.

Afortunadamente, cada día se va ampliando cada vez más el conocimiento acerca de los errores genéticos, lo que ha permitido en muchos casos detectar -mediante modernas técnicas de lectura del ADN- si algún gen ya viene fallado de fábrica y si existen posibilidades de transmitirlo a la descendencia. La lista de estas enfermedades es enorme, aunque afortunadamente en muchas de ellas la incidencia es muy baja. La hemofilia, las distrofias musculares, la fibrosis quística y la anemia falciforme son algunos de los ejemplos más conocidos de estas enfermedades.

También tenemos otros casos de fallas de programación, en donde una o unas pocas células comienzan a crecer descontroladamente produciendo daños

irreparables -como es el caso de la mayoría de los cánceres-, o cuando se producen anomalías en las divisiones celulares, lo que da lugar a que el número de cromosomas sea diferente al normal. Un ejemplo de este último caso es el síndrome de Down, en donde un error en la primera división de la formación de las células reproductoras -la meiosis- conduce a que el individuo resultante tenga tres pares de cromosomas veintiuno en lugar de los dos que naturalmente existen.

Y estos últimos puntos nos llevan irremediablemente a otro tema que compete a las células y que no pudo ser abordado: la bioética, que no es otra cosa que la aplicación de la ética a las ciencias de la vida. ¿Hasta qué punto es ético conocer de antemano si dos padres tienen posibilidades de engendrar un hijo con alguna enfermedad hereditaria? De poseer esa información, ¿será posible en el futuro “reparar” los errores del ADN a nivel celular para que el embrión crezca normalmente y dé lugar a un individuo sano -lo que se conoce como terapia génica-? ¿Cuán peligroso será que esa información caiga en manos de terceros, para ser utilizada en contra del individuo que porta esos genes “defectuosos”? ¿Será posible -y ético- “diseñar” a un individuo en base al gusto o preferencia de los padres?

Sin dudas, los conocimientos que se van adquiriendo en cuanto a la información genética humana hacen surgir estos y muchos más interrogantes, y muchos de ellos aun no han encontrado respuesta o todavía suenan a ciencia ficción. Pero otros ya están siendo respondidos en la actualidad, como ocurre con la selección de embriones que poseen determinadas características deseadas, como el color de ojos o el sexo del bebé. El primer caso, el color de ojos, podría circunscribirse a lo que sería una simple cuestión de estética, pero el segundo podría servir para salvar vidas, ya que muchas enfermedades hereditarias están directamente ligadas al sexo -se expresan en uno o en el otro-, por lo tanto esta selección de embriones permitiría que solamente se desarrolle aquel sexo que se sabe no expresará la enfermedad. Pero crear un embrión con las características deseadas implica que en el proceso –que es bastante azaroso- se produzcan otros que no las tengan. Puedo querer tener flores blancas de arveja en el jardín, pero para ello también tienen que aparecer flores rojas. Por lo tanto estos métodos selectivos implican la creación de un grupo de embriones que no van a llegar a término, y cuyo destino más probable sea su eliminación, y ese es uno de los grandes problema éticos que aun no se han solucionado, ya que todavía nadie se ha puesto de acuerdo en qué momento del desarrollo se considera a un grupo de células un ser vivo.

La ciencia está avanzando muy rápido, pero la bioética está aun en pañales y necesita madurar a una velocidad similar, lo cual es un objetivo muy difícil, ya que la ciencia sigue un camino recto y en ascenso, con muy pocos obstáculos, mientras que los asuntos éticos de este tipo requieren del consenso de todos los seres humanos, y ya sabemos que aun al grado de civilización del que gozamos hoy en día -lo cual como vimos le debemos en gran parte a las levaduras-, lograr este tipo de acuerdos globales sigue siendo una tarea titánica.

Pues bien, llegamos al final. Es de esperar que el viaje que iniciamos no haya sido muy complicado o aburrido. Las células aparecieron hace millones de años para quedarse. Las necesitamos y nos necesitan. Forman parte de nosotros y somos nosotros gracias a ellas. Por eso siempre es bueno conocer de qué estamos hechos, para poder apreciarlo mejor, y de paso cuidarlo un poco más.

Por todo eso y mucho más, amerita enunciar una frase final: ¡gracias a la célula, que nos ha dado tanto!

Resultados

Libro “Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein”

Si bien en esta ocasión se presenta solamente el primer capítulo del libro, todas las secciones tendrán una estructura similar, iniciándose cada una con una introducción sobre el origen de los monstruos seleccionados, incluyéndose el contexto histórico en el que surgieron.

Posteriormente, se eligieron dos características únicas de cada personaje, y se las asoció con algún tema científico, de manera de poder describir cada peculiaridad del protagonista a través de la ciencia, con el objetivo de encontrar similitudes con aspectos conocidos de la realidad, o para demostrar la imposibilidad de que semejantes criaturas pudieran existir en el mundo actual.

Los capítulos seleccionados y sus contenidos resumidos serían los siguientes:

- **El monstruo de Frankenstein**
  - ¡Está vivo!: explica el funcionamiento del sistema nervioso y las posibilidades de reanimación con electricidad.
  - Cómo armar un cuerpo y no ser rechazado: detalla los mecanismos de defensa del sistema inmunológico, particularmente luego de los trasplantes de órganos y tejidos.

- **El Conde Drácula**
  - La sangre tira: define el concepto de mutaciones genéticas y su influencia en el caso particular de las anemias.
  - Oscuridad, cámara y ¡acción!: revela el funcionamiento de la vista, centrándose en la visión nocturna y la foto sensibilidad.

- **El Hombre Lobo**
  - Combatiendo la caspa: relata detalles de la condición genética o adquirida de crecimiento anormal de pelo conocida como *hipertricosis*, cuyos portadores son conocidos como los verdaderos *licántropos*.
  - Algo para morder: cuenta el proceso de infecciones por microorganismos y el contagio de enfermedades a través de heridas, como mordeduras.

- **La Momia**
  - Envuelto para regalo: describe los principios de la conservación de los tejidos, explicando tanto las técnicas antiguas como las actuales.
  - Corazón sensible o cerebro calculador: se refiere a los órganos del cuerpo que en el pasado eran considerados de mayor importancia y las

justificaciones de esa distinción, detallando cuáles son sus funciones según los actuales conocimientos anatómicos.

- **La Criatura de la Laguna Negra**
  - Como pez en el agua: explica la enfermedad genética de la piel denominada *ictiosis*, describiendo algunos de los mecanismos por los cuales las células crecen descontroladamente.
  - Parecidos y diferentes: detalla la etapa "anfibia" del desarrollo del feto humano.

- **Los Zombis**
  - El Vudú y sus costumbres: expone el efecto de las drogas alucinógenas sobre el sistema nervioso.
  - Enterrado vivo: describe el trastorno del sistema nervioso conocido como *catalepsia* y su relación con algunas enfermedades mentales y el consumo de drogas de abuso.

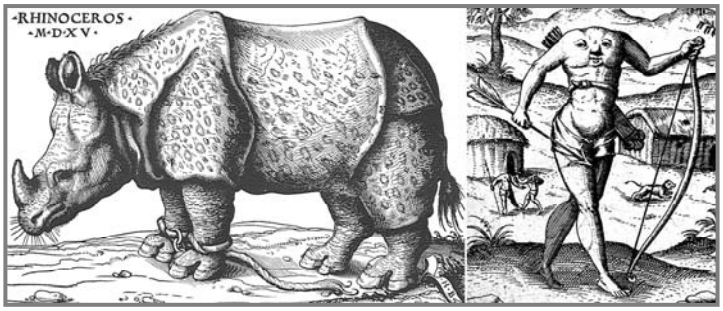
A continuación se presenta el texto completo del primer capítulo del segundo libro, el cual se ha anexado a este trabajo (**Anexo 2**) en un formato libro estándar de 150 x 210 mm, letra Times New Roman tamaño 10, con cubierta ilustrada, índice y bibliografía.

Prólogo

Es extraña la fascinación que producen los monstruos en nosotros. Los relatos y las representaciones artísticas que los describen provienen de tiempos inmemoriales, sobre todo de aquellas épocas donde pocas cosas podían explicarse “científicamente”, y el desconocimiento era reemplazado por una alta dosis de fantasía.

Y a pesar de todo, en pleno siglo XXI, con los avances científicos y tecnológicos que parecen ser capaces de descubrir e interpretar todo lo que pasa en mundos que ni siquiera podemos ver con nuestros propios ojos – desde un átomo hasta enormes galaxias –, ellos siguen existiendo y nos siguen atrayendo. Quizás sea porque la imaginación humana no podrá nunca ser reemplazada por poderosos microscopios o gigantescos telescopios espaciales, o porque ellos representan nuestros miedos más profundos, aquellos que ninguna ciencia todavía ha podido explicar, o simplemente porque sin los monstruos no podríamos vivir, todo sería más aburrido, nadie podría hacernos saltar de nuestra butaca en el cine, o conducirnos a una noche de insomnio atentos a cualquier ruido que pudiera indicar su presencia en nuestra habitación.

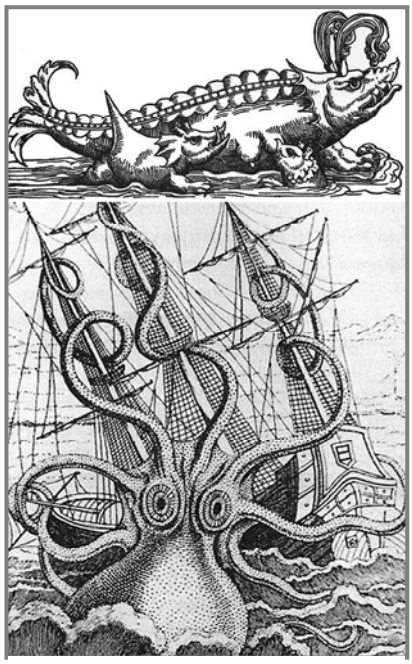
La mitología de varias culturas de nuestro pasado se pobló de monstruos, los cuales por lo general eran un problema muy difícil de erradicar para la humanidad, ya que poseían poderes sobrehumanos que impedían eliminarlos porque, dicho sea de paso, la mayoría de las veces les gustaba destruir y matar por el simple hecho de hacerlo, y eso no era bueno para la población. En todos los casos había dos caminos a seguir, o la aparición de algún héroe con poderes iguales o mayores al monstruo – que generalmente no era tan “despierto” como el héroe -, o aprender a convivir con el ser sobrenatural dándole algún que otro “gustito” de vez en cuando (llámese a esto sacrificios humanos o de otra índole).



<u>Izquierda</u>: *Rinoceronte*, grabado en madera, Hans Burgkmair, 1515; <u>derecha</u>: *Blemia*, ilustración del libro *Descubrimiento de Guyana*, Sir Walter Raleigh, 1603

Ni que hablar de lo que ocurrió cuando las primeras expediciones encontraban “nuevos mundos”. En algunos casos podría buscarse alguna explicación lógica a los temores que surgían, como cuando un europeo veía por primera vez un ser tan aterrador como un rinoceronte, que aparte de raro era bastante agresivo, como se esperaría de un monstruo que se digne de serlo. Pero en otros casos la imaginación llegaba a límites inexplicables, como la descripción de hombres sin cabeza y con ojos, nariz y boca en su torso (los *Blemias*). Esto

podría explicarse de dos maneras. Por un lado la ventaja que significaban las grandes distancias que separaban al “monstruo” de aquellos que solamente contemplaban las ilustraciones del mismo, quienes muchas veces eran los que financiaban la expedición – y por ende invertirían más dinero para que sus conquistadores se defendieran ante tan extrañas y peligrosas “bestias” -. Por el otro lado, existía una alta probabilidad que quién describía a estas criaturas estuviera bajo el influjo de alguna bebida o comida con altos poderes alucinógenos que les hubieran ofrecido los locales.



<u>Arriba</u>: *Ballena*, ilustración del libro *Icones Animalium*, Conrad Gesner, 1560; <u>abajo</u>: *Calamar gigante*, ilustración del libro *Historia Natural de los Moluscos*, Pierre Denys de Montfort, 1802

Otro clásico de las mencionadas expediciones de conquista eran los monstruos marinos. Cientos de mapas de la época exhibían imágenes de criaturas gigantescas y de aspecto peligroso, que eran avistadas en las largas travesías entre los diferentes continentes. Muchas de ellas aun existen y las llamamos, por ejemplo, ballenas y calamares gigantes. Obviamente que hoy sabemos que no son monstruos, pero en esa época se tomaban algunas libertades en las ilustraciones, generando verdadero temor de navegar, con ballenas portadoras de grandes dientes – que dicho sea de paso, no tienen -, y calamares que abrazaban con sus tentáculos a las embarcaciones hasta hundirlas, algo que aparentemente jamás ocurrió. Es más, si hay un animal que es esquivo para mostrarse en vivo y en directo, es justamente el calamar gigante.

Pero los monstruos más famosos, sobre todo en la actualidad, han llegado de la mano de la literatura, y más tarde del cine. Muchos de ellos surgieron de antiguas leyendas y otros directamente de la imaginación de grandes novelistas o guionistas. La industria fílmica, sobre todo la de Hollywood, se ha encargado en las últimas décadas de inmortalizar en celuloide a famosos monstruos de novela, y de crear otros que directamente no han salido de obras literarias famosas.

En este libro se ha hecho una selección de los seis monstruos más célebres de las últimas épocas, aquellos que nunca pasan de moda y que en su mayoría son reconocidos por varias generaciones. Y ellos nos servirán de excusa para explicar algunos conceptos científicos que de alguna forma están asociados a esos monstruos. Sí, porque no todo es simple imaginación, de una manera u otra lo que los hace distinguibles de nosotros muchas veces puede tener alguna explicación científica. De cualquier manera, es bueno aclarar nuevamente que emplearemos a los monstruos como pretexto para enseñar un poco de ciencia, ya

que de ninguna manera lo que revele este libro va a quitarles su especial encanto. Es más, quizás sirva para que los podamos comprender mejor y así darnos cuenta de que en el fondo no son tan “monstruosos” como parecen.

Sin más preámbulo, esperamos que disfruten este libro, que puedan aprender algo de ciencia y a la vez divertirse y, por qué no, asustarse un poco.

Capítulo 1
El monstruo de Frankenstein

Un poco de historia

Quizás, junto con el Conde Drácula y el Hombre Lobo, el monstruo creado por el doctor Víctor Frankenstein sea uno de los más famosos de la historia moderna. Muchas películas lo han tenido de protagonista, a veces solo, otras veces junto con sus compañeros de podio, y más de una vez inmerso en historias que poco tenían que ver con sus verdaderos orígenes.

Este monstruo comparte una cualidad especial con otros de los que aparecerán en este libro, y es el hecho de que en realidad es una persona sin vida, que de una forma u otra es resucitada. Los otros casos son el Conde Drácula, un ser cuyo corazón no late y que está condenado a una vida eterna, la Momia, otro cuerpo sin vida buscando vengarse de quienes profanaron su tumba, y los Zombies, muertos resucitados quienes se arrastran de un lado a otro en busca de un cerebro fresco que los alimente.

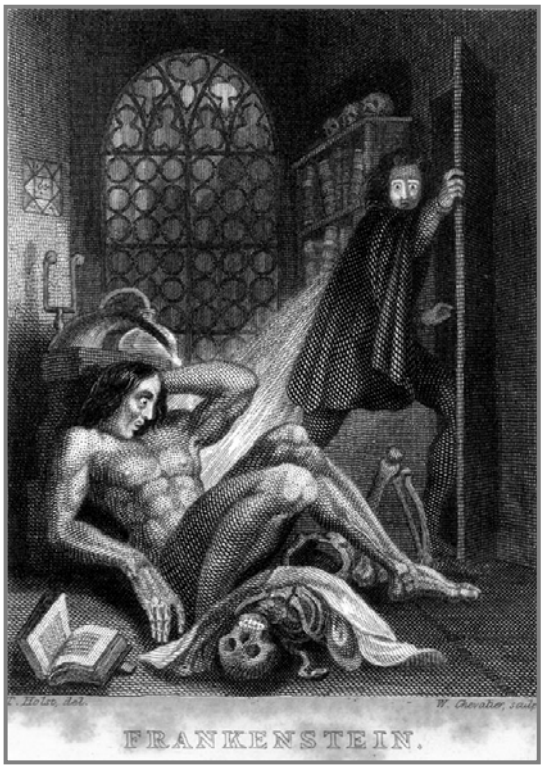


Ilustración original de *Frankenstein o el Prometeo moderno*, de la edición de 1831

Si bien la criatura creada por Frankenstein tiene ese punto en común con sus compañeros de libro, hay algo que lo diferencia de ellos: su cuerpo proviene de partes de otros, y eso lo hace muy especial, particularmente desde el punto de vista de la ciencia. Y es justamente un científico, Víctor Frankenstein, el que lleva a cabo semejante logro, sobre todo en una época en que poco y nada se sabía de trasplantes y de la electricidad que corre por nuestro cuerpo. Pero no nos adelantemos, y veamos un poco cómo surgió el concepto de un “científico loco” que crea un nuevo ser a partir de restos humanos y de otras cosas que ni se imaginan.

Pero vamos al grano, ¿cómo nació entonces la historia del monstruo de Frankenstein? Cuenta la leyenda que en el verano de 1816, la escritora británica Mary Shelley (1797-1851) se encontraba junto a su esposo, el poeta y filósofo Percy Shelley (1792-1822), disfrutando de unas plácidas vacaciones a orillas del Lago de Ginebra, en la frontera entre Francia y Suiza. Es allí donde la pareja compartía largas noches de tertulia con algunos de sus amigos, entre ellos el famoso poeta inglés Lord Byron (1788-1824). Al parecer, la persistente lluvia de principios de la temporada estival los mantenía por interminables horas dentro de sus lujosas villas, por lo cual se entretenían, especialmente por la noche, leyéndose unos a otros historias fantasmagóricas de un libro alemán traducido al francés. Fue así que, víctima de su aburrimiento e incitado por los cuentos relatados, Lord Byron retó a cada uno de sus huéspedes a que escribiera una historia de terror, para ver quién era capaz de provocar la mayor dosis de espanto en el resto de los invitados.

El "monstruo de Frankenstein" egipcio

La idea de la resurrección del cuerpo no se remite al monstruo que nos ocupa en este capítulo, sino que es tan antigua como la civilización humana. Quizás el caso más parecido al del monstruo de Frankenstein sea el de una leyenda egipcia muy antigua, de hace más de tres mil años. Esta leyenda cuenta que Osiris, gobernante de Egipto por esas épocas, fue asesinado por su celoso hermano Seth, quien lo reemplazó de esta manera en el trono. Para evitar que la esposa de Osiris, llamada Isis, encontrara su cuerpo, Seth lo despedazó en decenas de fragmentos, los cuales repartió por todo el reino egipcio. Pero Isis, devota esposa, con mucha paciencia recorrió grandes distancias recogiendo cada una de las partes del cuerpo de su marido, lo volvió a reconstruir y con su aliento lo retornó a la vida. Esta resurrección de Osiris no fue muy duradera, pero alcanzó para que Isis pudiera engendrar al hijo de ambos, Horus, quien finalmente se encargó de vengar la muerte de su padre, recuperando el trono de Egipto luego de matar al hasta ese momento impune asesino, Seth.

Mary, que por ese entonces todavía no había cumplido dieciocho años, parecía no haberse contagiado de la inspiración de los otros, ya que cada uno de ellos proponía, con el pasar de los días, historias cada vez más terroríficas. Fue en una de esas tantas jornadas grises, que dos sucesos de la vida de Mary se amalgamaron para dar lugar a una de las novelas más horripilantes de la literatura de terror. Uno de ellos tuvo que ver con un sueño que la escritora había tenido el año anterior, cuando había perdido a su primer hijo. En él, soñaba que su bebé volvía a la vida, que solamente tenía frio y que al frotarlo cerca del fuego recuperaba su calor vital. El otro suceso estaba relacionado con una de las tantas conversaciones que se llevaban a cabo en la mansión de Lord Byron, cuando los huéspedes discutían los trabajos de Erasmus Darwin (1731-1802) -abuelo del padre de la Teoría de la Evolución, Charles Darwin (1809-1882)-, un médico que entre otras cosas investigaba el fenómeno del *galvanismo*, nombre con el que se conocía a la contracción muscular estimulada por corrientes eléctricas, particularmente en organismos muertos o en partes del cuerpo de los mismos.

Estos dos acontecimientos, el deseo de volver a la vida a su hijo y la posibilidad de "resucitar" cadáveres con electricidad, fueron el puntapié inicial de la historia que Mary Shelley comenzó a delinear, mientras el resto de los invitados disfrutaban de un día de navegación en el lago. Fue tal el impacto que causó entre todos el relato, que el esposo de Mary la convenció para que la convirtiera en una novela, la cual fue publicada dos años después, en 1818.

La historia es protagonizada por un estudiante universitario llamado Víctor Frankenstein, el cual estaba obsesionado con lo que se conocía como el "principio de la vida". Una vez avanzados sus estudios en varias áreas de la ciencia, decidió dedicarse durante años a investigaciones que le permitieran comprender cuál era y dónde se encontraba la esencia que nos hace seres vivos. Fue a partir de sus observaciones que comenzó a ensamblar un cuerpo humano con partes que obtenía ilegalmente de mesas de disección o mataderos (ya veremos esto con más detalle), buscando crear al ser perfecto. Sus conocimientos sobre el galvanismo le permitieron infundirle vida a su obra, supuestamente a través de grandes descargas eléctricas, pero una vez que se encontró frente al resultado final, un ser horrible, imperfecto y sufriente, huyó despavorido dejando a la bestia a su libre albedrío. El monstruo sin nombre juró vengarse de su creador, ya que en todos lados a los que se dirigía era rechazado y atacado debido a su terrible y atemorizante aspecto, iniciándose así una serie de asesinatos, falsas acusaciones e interminables persecuciones. El mismo monstruo obliga a Frankenstein a crearle una pareja para no sentirse tan solo en este mundo, pero el científico, acosado por su conciencia, frustra el proyecto cuando casi estaba terminado, aumentando la ira de su creación original, que se desquita asesinando a la esposa de Víctor durante su noche de bodas. Ese episodio es el que finalmente convence a Frankenstein que debe destruir al monstruo, iniciando así una larga persecución que finaliza en el Polo Norte, donde Víctor fallece y la

Mitos de creación

El título original de la novela, "Frankenstein o el moderno Prometeo", hace alusión por un lado al protagonista, el joven prototipo de científico Víctor Frankenstein, y por el otro alude a uno de los Titanes de la mitología griega, Prometeo, quien fuera el encargado de crear a la raza humana a partir de figuras de arcilla, y con quien Mary Shelley quiso representar la creación de la vida a partir de la materia inanimada. Aquí también entran a jugar otros simbolismos, como el del fuego, con el cual Prometeo les otorgó vida a sus modelos de arcilla, y el que también le permitió recuperar su aliento vital al hijo de Mary en su sueño. Ese es el mismo fuego que Prometeo robó para concedérselo a los humanos por él creados, acción por la cual fue castigado por el dios Zeus, quien lo condenó a una eternidad encadenado a una roca, donde un águila todos los días le devoraba partes de su hígado, el cual se regeneraba para iniciar la tortura nuevamente. Es interesante destacar que el hígado es uno de los pocos órganos que puede repararse a sí mismo, por lo tanto el mito de Prometeo no haría más que confirmar que los antiguos griegos ya conocían este proceso de regeneración.

criatura decide terminar con su vida al encontrarse muerto aquel quien causara su desdicha.

Luego de describir el contenido de la novela -de lectura altamente recomendada-, y a los efectos del objetivo principal de este libro, cabe hacerse algunas preguntas en relación a la trama central de la historia. ¿Es posible resucitar un cuerpo inanimado a través de descargas eléctricas?, ¿Cuán probable es ensamblar un cuerpo con partes provenientes de diferentes individuos y que el mismo pueda funcionar sin problemas? Pues bien, en las siguientes secciones intentaremos responder científicamente a estas preguntas.

Electricidad y sistema nervioso

¡Está vivo!: la "electricidad animal"

El famoso grito que profiere Víctor Frankenstein cuando su criatura mueve la mano nunca aparece en la novela original. El "¡está vivo!" fue una de las tantas creaciones de Hollywood para su película "Frankenstein, el hombre que creó un monstruo", del año 1931, protagonizada por el célebre actor del género de terror Boris Karloff, quien personificó a la criatura en varios films.

Tampoco hay indicios en el libro de Mary Shelley acerca de la existencia de una parafernalia de instrumentos científicos, arcos eléctricos y tormentas de rayos, tal como suele verse en las películas protagonizadas por el monstruo de Frankenstein, sino que muchos de esos elementos son simplemente sugeridos a lo largo de la historia Una pista la da el célebre fragmento con que comienza el relato original que luego se convertiría en el quinto capítulo de la novela, y que dice: "Una lúgubre noche de noviembre vi coronados mis esfuerzos. Con una ansiedad casi rayana en la agonía, reuní a mi alrededor los instrumentos capaces de infundir la chispa vital al ser inerte que yacía ante mí". Esa chispa no era otra cosa que la electricidad "reanimadora" que describiera Luigi Galvani (1737-1798), más conocida como *galvanismo*. La idea más elaborada de los relámpagos como proveedores de esa chispa, probablemente provenía de la adolescencia de Víctor Frankenstein, cuando había nacido su admiración por el poder que estas descargas eléctricas exhibían en la naturaleza.

A pesar del paso del tiempo -más de doscientos años- el estudio de los efectos *galvánicos*, también conocidos como *electricidad animal*, aun existe, pero ahora se lo conoce con el nombre de *electrofisiología*, que se define como "el estudio de las propiedades (o naturaleza) eléctricas de las células y los tejidos biológicos".

Pero entonces, ¿existen realmente fenómenos eléctricos en los animales y en nosotros? Sin ninguna duda, y gracias a la electrofisiología hoy podemos describirlos hasta con el más mínimo detalle. Si bien esta ciencia abarca un gran número de fenómenos –desde la regulación de los latidos del corazón hasta la medición de la actividad cerebral-, nos vamos a centrar en el origen de las señales

eléctricas de nuestro cuerpo, adentrándonos a niveles microscópicos, observando cómo pequeñas células llamadas neuronas se las ingenian para mantenernos funcionando a la perfección.

Básicamente, la electricidad que todos conocemos tiene que ver con el flujo o movimiento de cargas eléctricas. En el caso de nuestro sistema nervioso, esas cargas son proporcionadas por los *iones*, que son partículas, en este caso átomos, que poseen cargas eléctricas ya sean positivas o negativas (piensen en los polos de una batería o de una pila, por ejemplo). Muchos de nosotros conocemos muy bien a algunos iones, ya que son de gran importancia para el sustento de la vida, y solemos incorporarlos con nuestra alimentación. Entre ellos tenemos al *potasio* (símbolo químico = K), muy abundante en bananas y naranjas, el *sodio* (Na) y el *cloro* (Cl), que juntos forman el *cloruro de sodio* o la sal de mesa, y el *calcio* (Ca), que le da fortaleza a nuestros huesos y dientes. Todos tienen carga *positiva*, a excepción del cloro, que es negativo. Algunos de estos iones son de extrema importancia para que la electricidad se mueva por nuestro sistema nervioso, y las principales responsables que permiten ese movimiento de cargas son las anteriormente mencionadas neuronas. Pero, ¿cómo trabajan estas células para llevar a cabo semejante tarea? Y además, ¿cómo se las ingenian para manejar, por ejemplo, un pie desde un cerebro cuando ambos están a una distancia que puede a veces superar los dos metros?

Electricidad ambarina

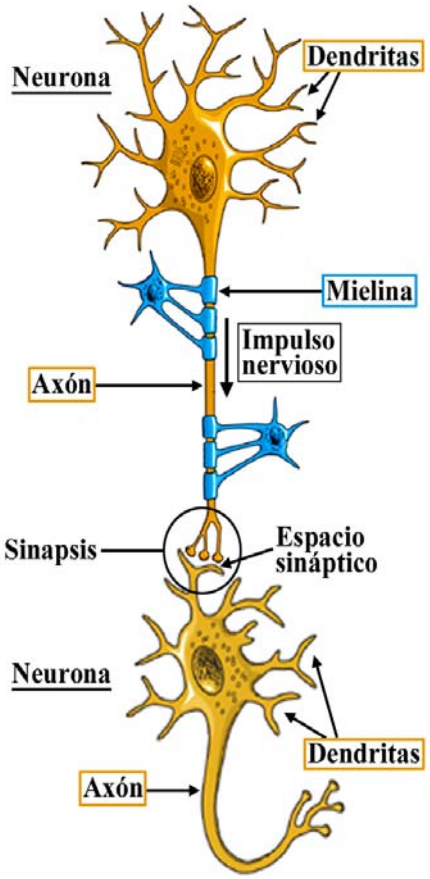
Hace más de cinco mil años solía forjarse una aleación de oro y plata llamada *electrum*. Los antiguos griegos la conocían como “oro blanco”, y era utilizada para fabricar desde monedas hasta el recubrimiento de las puntas de las pirámides egipcias. La tonalidad amarilla pálida del electrum probablemente llevó a que los griegos llamaran al ámbar (resina de árbol fosilizada de un color similar) *elektron*. Fueron ellos mismos los que primero notaron que al frotar el ámbar con una piel de animal se producía la atracción de pequeños elementos hacia la resina, algo que actualmente conocemos como *electricidad estática*, y que podemos reconocer cuando por ejemplo caminamos sobre una alfombra frotando nuestro calzado y nos da una descarga eléctrica al tocar el picaporte de una puerta. Pues bien, la palabra *electricidad* proviene entonces del nombre que se le diera al ámbar, y tiene relación directa con sus propiedades *electrostáticas* particulares.

Cableado interno: las neuronas

Muchas veces habremos dicho o escuchado que a alguien “le faltan jugadores”, cuando se considera que esa persona no está en sus cabales. Pues bien, esos jugadores son nada más y nada menos que las neuronas, y cuando faltan realmente pueden traer serios problemas.

La función principal de las neuronas es la de conducir los impulsos nerviosos, los cuales son ni más ni menos que electricidad, que en el caso del sistema nervioso ocurre por movimientos de iones, algo que veremos en detalle en la próxima sección. Estos impulsos se movilizan en ambos sentidos entre los órganos sensoriales -la piel, los ojos, la lengua, el oído, las fosas nasales, etc.- y el sistema nervioso central -cerebro y médula espinal-.

La forma clásica en que se representa a las neuronas en los libros de texto es la de una especie de “estrella” con varias puntas de un tamaño pequeño a mediano, y una prolongación extremadamente larga, capaz de extenderse a grandes distancias. A las puntas más cortas y mayoritarias se las denomina *dendritas*, las cuales se encargan de recibir las señales que llegan a las neuronas, mientras que al largo y solitario “cable” se lo conoce como *axón*, estando a su cargo la transmisión del impulso eléctrico hasta su destino final, que pueden ser otras neuronas o un músculo. Llamar a los axones “cables“ no es una exageración, ya que es por su interior por donde viaja el impulso nervioso en forma de electricidad, llegando algunos de ellos a medir hasta un metro de largo, como los que conectan a la médula espinal –que forma parte del sistema nervioso y corre por dentro de nuestra columna vertebral- con el extremo de los dedos de nuestros pies..



Esquema de dos neuronas conectadas

Además, y como para reforzar el paralelismo entre los axones y los cables, existe un tipo particular de células acompañantes quienes se encargan de formar la *mielina*, que es una cubierta que recubre a los axones, y que cumple una función aislante equivalente a la que desempeña el recubrimiento plástico de los cables,.

Moviendo las cargas para mover el cuerpo

Ahora bien, sabemos que en nuestro sistema nervioso se genera un impulso eléctrico que es transmitido de un lugar al otro del cuerpo a través de las neuronas. Ya dijimos que las cargas que se necesitan para movilizar a ese impulso son proporcionadas por iones, así que ahora nos queda saber cómo se las ingenian las neuronas para mover a la electricidad a través de sus largos

cables, para que la información recibida en una parte del cuerpo sea enviada a otro sector del mismo, de manera que se pueda obtener una respuesta inmediata y adecuada ante cualquier estímulo que se nos presente.

Cuando una neurona está en reposo -esto es, no recibe estímulo alguno del exterior-, la cantidad de iones sodio afuera de la célula es mayor que adentro de la misma, algo opuesto a lo que ocurre con el potasio. Existen *bombas* impulsoras en la superficie de las neuronas –pequeñas proteínas que comunican el interior celular con el medio externo y que bombean iones- que se encargan durante ese tiempo de expulsar más sodio hacia afuera del potasio que entra, lo que hace que la neurona esté "más positiva" afuera que adentro, ya que si bien ambos iones son positivos, esta carga está más "concentrada" en el exterior.

Ante un estímulo externo –una imagen, un pinchazo, una quemadura, un sonido, etc.-, comienzan a actuar otras proteínas llamadas *canales*. Estas proteínas comunican el interior de la neurona con el exterior, pero a diferencia de las *bombas* lo hacen de manera selectiva, ya que poseen "puertas" de ambos lados que se abren o cierran dependiendo las necesidades del momento. La estimulación de la neurona produce señales que llevan a la apertura de estos canales que solamente dejan pasar al sodio, haciendo que este comience a entrar a la célula a una mayor velocidad que la bomba encargada de sacarlo, dando lugar a lo que se conoce como *depolarización*, en donde las cargas a ambos lados de la membrana celular se invierten, encontrándose ahora "más positiva" adentro que afuera. A medida que esto ocurre, los canales de sodio comienzan a cerrarse lentamente mientras que se empiezan a abrir los de potasio, que se van a encargar de *repolarizar* la membrana al enviar estos iones positivos hacia afuera. Finalmente, todos los canales se cierran y la bomba sodio-potasio retoma su función normal para mantener el equilibro iónico descrito al principio, de manera que la neurona retome su estado de reposo a la espera de un nuevo estímulo. Este cambio de polaridad de membrana, denominado *potencial de acción*, se va dando en forma consecutiva a lo largo del axón, transmitiendo así el impulso

Números asombrosos

Las neuronas son células microscópicas que no solamente se alojan en nuestro cerebro, sino que están distribuidas en todo nuestro sistema nervioso. El cerebro humano posee aproximadamente cien mil millones de neuronas -un uno con once ceros-, y cada una de ellas es capaz de conectarse a su vez con otras "colegas" -entre mil y diez mil-, ya sea tanto para recibir como para enviar información, así que se calcula que el número de conexiones neuronales alcanzaría la friolera suma de cien billones, es decir ¡un uno con catorce ceros detrás!

Las actuales *supercomputadoras* han sido capaces en estos últimos años de superar por muy poco la velocidad de procesamiento de datos de nuestro cerebro, aunque para hacerlo necesitan unos siete Megawatts de energía –lo suficiente para alimentar seis mil hogares-, mientras que para el mismo trabajo nuestro cerebro necesita 20 watts, que es la energía necesaria para encender una lamparita de bajo consumo, una eficiencia que va a llevar muchos años para superar.

eléctrico a gran velocidad desde el cuerpo de la neurona estimulada hasta la terminal axonal (el extremo final del “cable”).

¿Y cómo pasa ese potencial de acción de una neurona a la otra cuando hay que cubrir grandes distancias? Pues bien, cuando los cambios de carga llegan al final del axón, se inician una serie de reacciones químicas que van a hacer que se liberen al exterior de la neurona grandes cantidades de unas pequeñas moléculas llamadas *neurotransmisores* (su nombre los describe a la perfección), los cuales al salir del axón viajan por el *espacio sináptico* (del griego *sunapsis*, “punto de contacto”) que separa ambas neuronas, hasta llegar a la dendrita de la vecina más cercana. Allí comienzan entonces otra serie de reacciones que reinician el impulso eléctrico, el cual seguirá viajando a través de la segunda neurona, y así hasta llegar al destino final. Sería algo así como que en el extremo del axón hay un enchufe que a su vez se conecta a una toma que se localiza en la dendrita de otra neurona, permitiendo que el impulso eléctrico continúe su travesía sin obstáculos.

El movimiento se demuestra andando

Cuando el potencial de acción llega a un músculo, ese impulso eléctrico debe ser “traducido”, ya que ambos tejidos –nervioso y muscular- son bastante diferentes en forma, composición y función. Para ello las células musculares poseen en su superficie –la cual está en contacto con las terminales axonales de las neuronas- “sensores de voltaje”, que son canales pero esta vez de Calcio. Cuando estos canales son activados por la llegada del impulso eléctrico, se inicia una salida masiva de Calcio, produciéndose así la contracción de la fibra muscular, dando lugar a, por ejemplo, los latidos de nuestro corazón, o generando rápidos movimientos de nuestro cuerpo en respuesta a un estímulo externo, como cuando alejamos la mano del fuego cuando nos estamos quemando. Justamente, este proceso de “traducción” era el que Galvani reproducía cuando estimulaba los nervios de los músculos de las patas de rana con energía eléctrica, logrando moverlos “mágicamente” (para la época, claro).

Genios, imitadores y modelos de inspiración

Es increíble que a pesar de las limitaciones que existían para investigar en el siglo XVIII -ya que si bien había microscopios el concepto de célula era todavía bastante arcaico-, Galvani se las ingenió para explicar muchos de los sucesos que observaba durante sus experimentos, demostrando un gran poder de predicción. Él explicó que la generación de electricidad en nervios y músculos debía estar dada por la acumulación de cargas positivas y negativas en dos superficies opuestas –que ahora sabemos son el interior y exterior de las células nerviosas y musculares-, basándose en el diseño de algunos de los primeros artefactos que se estaban desarrollando en su época para producir y almacenar electricidad. Galvani también explicó que el flujo de la electricidad por los tejidos podría ser explicado mediante la existencia de poros que comunicaran a ambas superficies para

permitir la conducción de las cargas, es decir que predijo la existencia de los canales iónicos ¡casi doscientos años antes que se descubrieran! Por último, tenía muy claro que la electricidad que el aplicaba no era la causa directa de la contracción, sino que su función era la de iniciar la cascada de eventos –en este caso la activación del potencial de acción en los nervios- que finalmente llevaría al movimiento muscular.

El show debe continuar

El sobrino de Galvani, el físico Giovanni Aldini (1762-1834) –de quién dicen fue la verdadera inspiración de Mary Shelley para su personaje de Víctor Frankenstein-, se la pasaba haciendo demostraciones públicas del galvanismo mediante la aplicación de electricidad a cuerpos de animales y de reclusos recientemente ejecutados, como en el famoso caso del asesino londinense George Forster, quien fuera sentenciado y ajusticiado en la horca. Cuenta la historia que su cuerpo fue inmediatamente entregado a Aldini, quien delante de varios testigos demostró la existencia de la "electricidad animal", al lograr que Forster se convulsionara y abriera los ojos a través de la aplicación de la nueva metodología que había diseñado su tío. Mientras las autoridades decidían si sería necesario ejecutar al reo nuevamente –lo que obviamente no hizo falta-, uno de los testigos quedó tan impresionado que murió de susto luego de retornar a su casa tras presenciar tan macabro espectáculo.

Copiando a Víctor

Bien, ya vimos que realmente la electricidad –aunque a valores miles de veces más pequeños que la que circula por nuestras casas- atraviesa nuestros cuerpos de manera constante para mantenernos con vida, interactuar con el medio que nos rodea, recordar y memorizar todo lo que nos pasa –o casi todo- y responder a todo tipo de estímulos, pero ¿puede dar vida como en el caso del monstruo de Frankenstein?

Más de uno debe recordar las típicas escenas en las series televisivas de hospitales, cuando a alguien se le detiene el corazón y le aplican altas dosis de electricidad para que vuelvan a la vida, pero ese es un caso muy particular. El corazón, que es puro músculo, necesita que le den un "sacudón" cuando falla, y obviamente debe ser con electricidad, que como vimos es la que lo mantiene funcionando como un reloj. Pero ello no es garantía de que vuelva a trabajar –todo depende de la condición de ese corazón y del origen de su deficiencia-, y cuanto más rápido se aplique el procedimiento luego del infarto, mayores son las probabilidades de éxito. Un corazón que no late implica que no haya bombeo de sangre al resto del cuerpo, y con ello todos los órganos y tejidos no pueden recibir oxígeno, conduciéndolos a una lenta degradación, proceso que realmente obsesionaba a Víctor Frankenstein, y motivo por el cual inició un largo y tedioso camino que solamente produjo desgracias.

En base a todos estos conocimientos que poseemos actualmente, y teniendo en cuenta que la criatura le llevó un largo tiempo de "ensamblaje" al doctor Frankenstein (ya hablaremos sobre eso en la siguiente sección), es imposible pensar que le pudiera haber infundido vida mediante impulsos eléctricos. Lo más probable es que su creación se hubiera movido

espasmódicamente, pero de la misma manera que lo hicieran las ancas de rana que utilizó Galvani en sus experimentos, o los cuerpos de los convictos de Aldini.

Así que nos podemos quedar tranquilos, ya que nadie podría reproducir jamás un experimento semejante con tan abominable resultado. A no ser que a alguien se le ocurriera emular al doctor Frankenstein, y en una de esas descubra algún pequeño detalle que se le pasó por alto al famoso científico en sus investigaciones. Pero por ahora, afortunadamente, eso es solamente ciencia ficción.

Cómo armar un cuerpo y no ser rechazado: el sistema inmune

Armando el rompecabezas

La creación de la criatura, al igual que la forma de darle vida, también aparece sugerida en la novela de Mary Shelley. No hay una descripción detallada de cómo el doctor Frankenstein llevó a cabo su tarea, la cual le tomó ¡casi dos años! En ese sentido, otra vez entró a jugar la imaginación de Hollywood, que sugirió en todas sus películas –inclusive en la versión de 1994, que fuera una de las más fieles al libro original- que partes de diferentes cuerpos humanos fueron utilizadas por el obsesivo científico para “armar” a su criatura.

Si leemos con detalle el relato de Shelley, nos vamos a dar cuenta de que lo que muestran las películas sería algo así como una versión “suavizada” de la novela. Cuando en la historia original Víctor Frankenstein descubre que es capaz de animar materia sin vida, se da cuenta de la complejidad que le espera para preparar el “soporte o armazón” humano de fibras, músculos y venas al cual deberá dar vida. A pesar de ello decide comenzar la titánica empresa de crear un nuevo ser humano, complicando aún más su tarea al decidir hacerlo de un tamaño colosal –casi dos metros y medio de altura-, lo cual lo obligará a destinar unos cuantos meses de su vida solamente para “reunir y ordenar el material”.

A partir de ese momento comienza la parte horrorosa de la historia, ya que el protagonista se describe arrastrándose por los pantanos de los cementerios, torturando animales y visitando osarios, salas de disección y ¡mataderos! Mary Shelley de esta manera no hace más que sugerir que Frankenstein construyó su criatura no solo con partes humanas, sino también con restos de animales. También da a entender que el científico fabricó un cuerpo desde sus fundamentos, partiendo de un esqueleto al cual le fue agregando cada una de las partes necesarias para construir un ser humano completo –músculos, tendones, venas, arterias, piel, etc.-, algo mucho más complejo que ir cosiendo brazos, piernas, torso y cabeza, tal como se representa en las producciones cinematográficas. Ese colosal trabajo explicaría por qué Frankenstein invirtió tanto tiempo en su proyecto, que si bien se inició con la idea de dar vida a un cuerpo artificial, tuvo como objetivo principal el de aplicar la “exitosa” metodología a la resurrección de los muertos, impidiendo que los cuerpos de aquellos que pasaran a mejor vida

comenzaran su lento decaimiento, un tema que obsesionaba más a Frankenstein que la mismísima “chispa de la vida” que había descubierto. Una vez consumada su obra, el científico se dio cuenta de que su propósito central era imposible y que era mejor no jugar a ser Dios.

De cualquier manera, y a pesar del fracaso de Víctor Frankenstein, ¿sería posible un experimento semejante, teniendo en cuenta los avances que ha logrado la ciencia en los casi doscientos años que separan a nuestro presente de la época en que Mary Shelley escribió su novela?

La (moderna) historia de los trasplantes

Sabemos desde la segunda mitad del siglo XX que es posible reemplazar partes de nuestro cuerpo a través de trasplantes de órganos -hígado, riñón, pulmones, corazón, páncreas, intestinos- o de tejidos -piel, médula ósea, venas, córneas-. También podemos recobrar la sangre perdida a través de transfusiones, e inclusive se pueden reimplantar miembros o parte de ellos luego de haber sido amputados en accidentes. En muchos de estos casos, las intervenciones quirúrgicas requieren un minucioso, largo y paciente trabajo para conectar venas, arterias, nervios, músculos, huesos y tendones, algo en lo que aparentemente el doctor Frankenstein parecía tener vasta experiencia. Claro, con la diferencia que los procedimientos reales se deben hacer en unas pocas horas y no en dos años, sobre todo para preservar la salud del paciente, que entra vivo y debe salir con vida de la sala de operaciones, a diferencia de la criatura que protagoniza este capítulo.

En relación a los trasplantes, seguramente muchos han oído las palabras “compatibilidad” y “rechazo”, pero ¿de qué se tratan? ¿Tuvo en cuenta el doctor Frankenstein este tipo de conocimientos cuando decidió llevar a cabo semejante empresa? ¿Es posible crear un ser humano completo con partes de otras personas? ¿Y de animales? Pues bien, la explicación correspondiente a la primera pregunta va a darnos las respuestas a las últimas tres, que simplemente serían: no, no y… no.

Los primeros intentos serios de trasplantes en las primeras décadas del mil novecientos resultaron trágicos

Juntando las piezas

Existen reportes muy antiguos que datan de los primeros siglos después de Cristo, que describen trasplantes de corazón, piel o miembros –como el realizado por los santos gemelos Cosme y Damián, patronos de los cirujanos-, y en partes del mundo tan alejadas entre sí como China, la India o el continente europeo, pero estas historias no suelen describir los resultados más allá de la hazaña de semejante empresa. En la Europa de principios del siglo XX, se registraron los primeros intentos serios de trasplantes, encontrándose siempre una dificultad inesperada: los receptores de las donaciones no vivían más allá de unas pocas semanas, hecho por el cual en esas épocas comenzó a escucharse con mayor frecuencia la palabra *rechazo*, pero sin tener la más remota idea de la causa de dicho fenómeno.

fracasos, los cuales eran atribuidos a “la fuerza y el poder de la individualidad”. Esta última frase no estaba muy lejos de la realidad, ya que si bien en su momento describía algo intangible e inexplicable, actualmente se sabe que nuestro sistema inmune, el cual nos protege de la invasión de organismos extraños (bacterias, virus, parásitos), también se encarga de que tengamos cierta individualidad en cuanto a los componentes que forman nuestro cuerpo (células, tejidos, órganos).

El primer trasplante exitoso, uno de riñón efectuado en el año 1954, fue realizado entre gemelos idénticos, ya que en esos casos particulares la “individualidad” es compartida entre ambos pacientes y no existe rechazo alguno. Pocos años antes se había determinado que el rechazo en los trasplantes se debía a un ataque del sistema inmune del receptor hacia el órgano o tejido del donante, debido a que eran reconocidos como un elemento extraño, iniciando así una serie de procesos que llevaban indefectiblemente a la destrucción del “agresor”.

Reconociendo al invasor

Pues bien, ¿por qué un cuerpo va a desconocer a una parte que proviene de otro ser humano y que va a reemplazar algo que no funciona correctamente? Para comprender este mecanismo tenemos que entender primero cómo trabaja nuestro sistema inmunológico.

El primer paso para una defensa eficiente es identificar lo desconocido. Nuestro organismo “aprende” desde las etapas iniciales de su desarrollo a reconocer a sus propios componentes, eliminando a todo aquel integrante del sistema inmune que pudiera atreverse a atacar a las propias células del cuerpo (algo que se conoce como *autoinmunidad*), quedando disponible de esa manera la maquinaria fundamental para arremeter contra todo lo que se atreva a invadirlo y no se nos parezca en nada. Gran parte de ese “aprendizaje” tiene lugar en una glándula llamada *timo*, que se encuentra en el pecho, cerca del corazón, en donde un grupo de células llamadas *linfocitos T* son seleccionadas de manera que aquellas que pudieran iniciar una respuesta *autoinmune* son

Adaptarse para vivir

Nuestro cuerpo suele defenderse de manera efectiva ante ataques de desconocidos, entre los cuales podemos contar a los virus, las bacterias, los parásitos, algunas toxinas –provenientes de microorganismos o de venenos-, ciertas células tumorales –que se vuelven irreconocibles cuando “enloquecen” y empiezan a crecer sin control- y, desafortunadamente, casi todo lo que se trasplante desde otra persona. Este último caso suele despertar un tipo de defensa llamada *inmunidad adaptativa*. Esta forma de respuesta de nuestro sistema inmune lleva ese nombre porque es capaz de iniciarse a partir del reconocimiento de invasores extraños, “adaptando” a toda la maquinaria de defensa inmune para que fabrique rápidamente anticuerpos y células que se encarguen de destruir específicamente al enemigo, sin afectar ni a una sola célula de nuestro cuerpo.

eliminadas, mientras que las que tuvieran el potencial para responder contra elementos extraños a nuestro cuerpo son conservadas.

Destruyendo al enemigo

Una vez que nuestro cuerpo se reconoce a sí mismo, el sistema inmune está listo para defenderlo de cualquier ataque externo. Para ello cuenta con dos líneas de ataque, en la que participan un par de "ejércitos" muy bien entrenados. Los "soldados" del primero de ellos son los linfocitos T mencionados más arriba –aquellos que superaron la selección en el timo- , mientras que el otro grupo de defensa está compuesto por un grupo de proteínas llamadas *anticuerpos*.

Dentro de la primera tropa de combate, la de los linfocitos T, existe un grupo de células que son capaces de identificar al enemigo con una precisión extrema. Una vez reconocido el atacante, son esos mismos linfocitos T quienes se encargan de atacarlo y destruirlo -como ocurre con algunos tipos de tumores, células infectadas con virus o con las células de los tejidos u órganos trasplantados que no sean reconocidos-. Mientras tanto, otro grupo especializado de linfocitos envía señales que sirven para reclutar más células destructoras y para coordinar que todo el proceso se realice de manera ordenada y eficiente.

Como no siempre es suficiente con la línea de defensa que componen los linfocitos, muchas veces entra en acción un ejército paralelo que se encarga de terminar con cualquier enemigo que se muestre resistente a los embates del sistema inmune. Esa milicia tenaz está formada por otra tropa de linfocitos conocidos como *células B*, quienes se encargan de producir un tipo de proteínas muy variables –algo imprescindible para reconocer a atacantes que pueden ser muy diversos- llamadas *anticuerpos*, quienes se dedican a destruir al invasor sin ningún tipo de piedad.

Orígenes comunes

En los humanos, tanto las células B como los linfocitos T nacen en la médula ósea, al igual que el resto de las células de nuestra sangre: los glóbulos rojos, las plaquetas y los glóbulos blancos o *leucocitos*, a los cuales también pertenecen nuestros amigos T y B. La *médula ósea* se sitúa dentro de algunos huesos de nuestro esqueleto, como la pelvis y los extremos de los huesos de las piernas y de los brazos. Es allí, donde a partir de una célula común –o *célula madre de la sangre*- se diferencian aquellas células que al salir al torrente sanguíneo viajarán a diversas partes del cuerpo para defenderlo o para "aprender" qué es lo que no deben atacar.

La importancia de la superficialidad

Para poder entender qué hace compatible a una célula con otras, es importante saber que básicamente todo lo que puede ser reconocido por nuestro sistema inmune posee una superficie, ya sea se trate de la membrana externa de

una bacteria, la envoltura de un virus o la estructura de una toxina. Esas superficies poseen una forma tridimensional única, que puede ser bastante sencilla –como en una toxina- o extremadamente compleja –como la de una bacteria-, y todas ellas difieren significativamente de la superficie de cualquiera de las células de nuestro cuerpo.

Acabamos de ver de una manera detallada cómo nuestro cuerpo rechaza lo extraño, sin ninguna compasión con lo que no reconoce. Para que ese rechazo no ocurra hay que comprender de qué se trata la "compatibilidad", y la superficie de las cosas tiene mucho que ver con ella. A las partes de esas superficies que pueden despertar una reacción del sistema inmunológico se las llama *antígenos*, los cuales son generalmente proteínas que pueden ser reconocidas ya sea cuando están completas o fragmentadas en muchas piezas, llamándose en este caso *epitopes* a los distintos pedacitos.

Complejos para una complejidad complicada

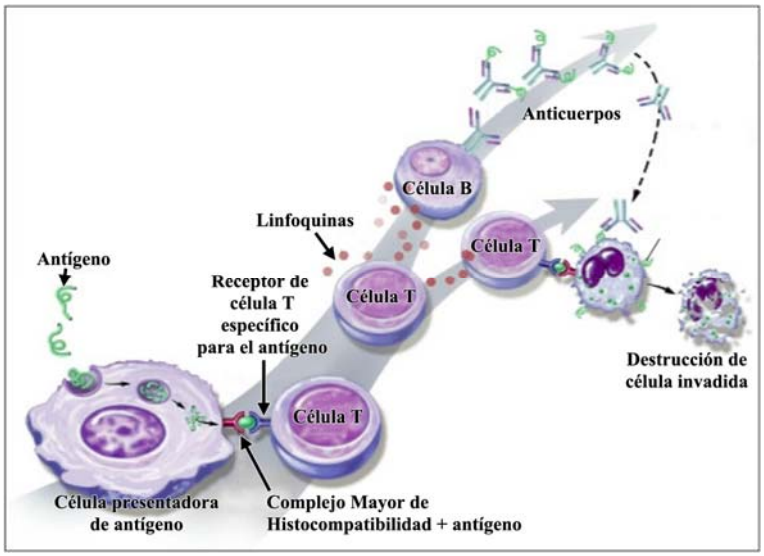
Pero vamos a lo que nos interesa, es decir a los trasplantes y las posibilidades de crear una criatura *frankensteiniana*. Existe un tipo de proteínas que se asoma en la superficie de casi todas nuestras células llamadas *complejo mayor de histocompatibilidad* (*MHC* de sus siglas en inglés). Estos complejos cobran mucha importancia en algunos tipos celulares –entre ellos las células B y los macrófagos- los cuales pueden comportarse como *células presentadoras de antígeno*. ¿Y qué es esto? Pues bien, la mayoría de estas células se pueden "comer" (o científicamente dicho *fagocitar*) a los invasores externos, y de esa manera "tragar" sus antígenos y "digerirlos". Los pequeños fragmentos de antígenos resultantes, los *epitopes* de los que hablábamos antes, viajan a la superficie de estas células y se reúnen con las moléculas del complejo de histocompatibilidad, de manera que juntos se transforman en una "bandera" o señal externa que será "presentada" a otras células, por ejemplo a los linfocitos T, quienes deberán reconocer esa "marca" mediante proteínas propias de su superficie llamadas *receptores*. Si las células T no reconocen a los pedacitos unidos al complejo de histocompatibilidad (algo que

Anticipando el ataque

Entre las estructuras más *antigénicas* -o sea que mejor activan las defensas corporales- tenemos a las superficies de los virus y las bacterias, y es por ello que algunas de esas estructuras virales o bacterianas son las que forman parte de muchas vacunas, ya que por sí solas -y no formando parte de los peligrosos gérmenes- son capaces de iniciar una respuesta inmune que prepara al cuerpo para responder inmediatamente cuando una invasión verdadera ocurra. Por ejemplo, algunos de los linfocitos B productores de anticuerpos seleccionados por nuestro sistema de defensa van a desarrollarse como *células B de memoria*, que permanecerán circulando por nuestro cuerpo durante años, lo cual permitirá una defensa más rápida y efectiva en caso que el invasor se atreviera a atacarnos por sorpresa.

“aprendieron” en el timo), se inicia la respuesta inmune que llevará indefectiblemente a la destrucción de la célula “contaminada”.

Un sistema similar de reconocimiento de antígenos existe para los anticuerpos. En este caso, cuando algún receptor en la superficie de una célula B reconoce a un extraño, se lo traga, lo digiere y lo “presenta” junto con una molécula del complejo de histocompatibilidad, de manera similar a como lo vimos en el párrafo anterior. Este conjunto antígeno-complejo es reconocido específicamente por un linfocito T, quien en lugar de atacar y destruir a esa célula comienza a liberar una sustancia llamada *linfoquina*, cuya función es ordenarle a ese mismo linfocito B que se “transforme”, se multiplique y comience a producir una cantidad enorme de anticuerpos. Estos últimos salen de la célula y comienzan a buscar a aquellos invasores que osen exponer en su superficie algunos de los trocitos que reconociera la célula B. Cuando ello ocurre, los anticuerpos comienzan a pegarse al fragmento reconocido del usurpador, el cual en ese momento puede comenzar a despedirse de esta vida. A partir de allí pueden pasar dos cosas, o que el invasor “decorado” de anticuerpos sea reconocido por un grupo de glóbulos blancos especializados –como los *macrófagos*-, que tienen como objetivo destruirlo (por ejemplo comiéndoselo), o que se active un mecanismo llamado *complemento*, que entre otras funciones tiene la de generar agujeros en las membranas de los enemigos (sobre todo en bacterias), lo que lleva a que finalmente “revienten”.



Esquema de la acción del sistema inmune, desde la presentación del antígeno hasta la destrucción del invasor mediante células T y anticuerpos

Muy lindo todo, pero ¿y los trasplantes?

La respuesta inmunológica que se observa en el rechazo de los trasplantes está relacionada directamente con las proteínas que forman parte del complejo mayor de histocompatibilidad. Generalmente nuestras células expresan cerca de una docena de ellas, pero a su vez de cada miembro de esa docena existen cientos de variables dentro de la población humana. Encontrar dos personas que tengan la mayor parte de estas moléculas del mismo tipo -es decir que sean

“compatibles”- es un gran desafío, y en el único caso que ello ocurre es en el de los gemelos idénticos, y es por ello que el primer trasplante de riñón en 1954 fue todo un éxito. ¿Y por qué se necesita que sean compatibles? Justamente porque cuando las proteínas del complejo de histocompatibilidad son diferentes también son reconocidas por el sistema inmune como un elemento extraño, haciendo que el tejido o el órgano trasplantado incompatible sean destruidos en cuestión de días u horas. Viendo que las probabilidades de un cien por ciento de compatibilidad para la docena de proteínas del complejo de histocompatibilidad que todos tenemos son casi imposibles, ¿cómo es que se siguen haciendo trasplantes? Pues bien, la única opción posible por ahora es contrarrestar al causante del rechazo, lo que significa que hay que anular por completo al sistema inmune. Para ello existen un grupo de drogas que suelen administrarse durante y después de los trasplantes, conocidas como *inmunosupresoras*, las cuales son las encargadas de evitar una reacción desmedida del sistema inmune ante la presencia de células extrañas. Uno de los inmunosupresores más conocidos que se utilizan en estos casos son los *glucorticoides*, los cuales son muy eficientes a la hora de frenar la respuesta inmune, tanto a nivel de los linfocitos T como de los anticuerpos. Pero a veces el remedio puede ser peor que la enfermedad, ya que el uso de estas drogas por períodos prolongados puede llevar a efectos secundarios indeseados, sumando a ello el peligro que conlleva tener un sistema inmune incapaz de defenderse ante el acecho de aquellos gérmenes oportunistas que pudieran atacar al paciente inmunosuprimido.

Ataques aislados o combinados

Durante el rechazo luego de un trasplante, la línea de ataque puede ser liderada directamente por los anticuerpos, como ocurre en las transfusiones de sangre entre grupos sanguíneos incompatibles, otras veces los anticuerpos combinan la ofensiva con los linfocitos T, como en el caso de los trasplantes de corazón o riñón, o son estas mismas células T las que hacen todo el trabajo sin ninguna ayuda cuando hay que atacar tejidos desconocidos que provengan de trasplantes de córnea, piel o médula ósea.

Donde hay vida, hay esperanza

Si bien el panorama pintado por la dualidad compatibilidad-rechazo no parece muy alentador, algunos resultados promisorios se empiezan a asomar en el horizonte para paliar este tipo de complicaciones. Más de uno dirá que gracias al sistema inmune a nadie se le va a cruzar por su cabeza una idea similar a la de Víctor Frankenstein, pero convengamos que por culpa de un científico trastornado -y que además existió solamente en la mente de una escritora- no vamos a dejar de lado a mucha gente que necesita llevar una vida plena gracias a la ayuda de un trasplante.

En la actualidad se está trabajando en dos modelos para corregir el problema del rechazo y el uso de drogas inmunosupresoras tan perjudiciales. Por un lado se está estudiando la utilización de órganos provenientes de porcinos para trasplantes en humanos. ¿Cómo? ¿Entonces Frankenstein no estaba tan equivocado en usar partes de animales? Todo tiene una explicación. El tamaño de los órganos de los cerdos es muy similar al de los nuestros, y se los está modificando genéticamente para que nuestro cuerpo no los reconozca como extraños, cambiándoles las proteínas más antigénicas de la superficie de sus células por otras que se parezcan más a las nuestras.

El otro enfoque es el de la fabricación de órganos a medida a partir de células del propio paciente. La idea es crear un "molde" del órgano a reemplazar, y hacer que crezcan sobre y dentro de él las células específicas que se necesiten para que funcione. Para ello se toman las células sanas del órgano o tejido a reemplazar separándolas de las enfermas –o se utilizan "células madre" que sean "dirigidas" para que se transformen en un tipo celular particular-, y se las deja multiplicarse por un tiempo sobre una matriz -que puede ser de polímeros sintéticos (plásticos) o naturales (proteínas)-, para luego trasplantar el producto resultante en el paciente. Esto por ahora ha funcionado con tejidos sencillos formados por pocos tipos celulares y cuya estructura sea plana (piel, cartílago) o hueca (venas, vejigas). Lamentablemente no se ha podido avanzar mucho en la generación de órganos tan complejos como el corazón, el riñón o el hígado, ya que los mismos están formados en algunos casos por docenas de tipos celulares diferentes, los cuales a su vez se ordenan de una manera específica en el órgano para que éste pueda funcionar a la perfección, algo que por ahora solamente la naturaleza ha logrado reproducir y que todavía no hemos sido capaces de emular.

Sin dudas, estos dos proyectos tienen un gran futuro por delante, pero aparentemente ambos todavía están muy lejos de hacerse realidad.

Entonces el monstruo ¿es posible?

Pues bien, después de explicar lo difícil que es lograr que un solo órgano no sea rechazado debido a su incompatibilidad, queda claro que la criatura creada por Víctor Frankenstein sería irrealizable, no solo en aquella época que nada se sabía sobre estos temas, sino que aun en la actualidad sería imposible intentar semejante proeza. Quizás en un futuro muy lejano algo parecido podría llevarse a cabo, y como hemos visto inclusive utilizando partes de animales como sugiriera Mary Shelley, pero los mismos interrogantes éticos que el protagonista de la novela se planteara luego del despertar de su monstruo aparecerían indefectiblemente en nuestra sociedad moderna, probablemente impidiendo que apareciera un nuevo Víctor Frankenstein con ideas de grandilocuencia.

Mientras tanto, seguiremos intentando engañar a nuestro tan superficial sistema inmune, pero con el solo objetivo de prolongarle la vida a aquellos que tanto lo necesitan.

Bibliografía del libro "Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos"

- de Kruif, P. *Microbe Hunters* (*Cazadores de microbios*). Houghton Mifflin Harcourt (Ed.), Boston, MA, EE.UU. (2002) 384 páginas. ISBN: 9780156027779.

- Diccionario de la Real Academia Española, vigésima segunda edición (2010) ISBN: 978-8423968145.

- Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.H., Stackebrandt, E., y Dworkin, M. *The Prokaryotes* (*Los Procariotas*). Springer (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2006). 1200 páginas. ISBN: 9780387254937.

- Glimn-Lacy, J. y Kaufman, P.B. *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families* (*Botánica ilustrada: introducción a las Plantas, grupos mayores y familias de Plantas con flores*). Springer (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2006). 292 páginas. ISBN: 9780387288703.

- Hickman, C.. *Integrated Principles of Zoology* (*Principios integrados de Zoología*). McGraw-Hill (Ed.), Columbus, OH, EE.UU. (2010). 896 páginas. ISBN: 9780071221986.

- Koppmann, M. *Manual de gastronomía molecular: el encuentro entre la ciencia y la cocina*. Siglo XXI (Ed.), Buenos Aires, Argentina. (2011). 221 páginas. ISBN: 9789876291958.

- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C.A., Krieger, M., Scott, M.P., Bretscher, A., Ploegh, H., y Matsudaira, P. *Molecular Cell Biology* (*Biología celular y molecular*). W. H. Freeman (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2007). 1150 páginas. ISBN: 9780716776017.

- Mawer, S. *Gregor Mendel: Planting the Seeds of Genetics* (*Gregor Mendel: sembrando las semillas de la genética*). Harry N. Abrams (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2006). 176 páginas. ISBN: 9780810957480.

- McGee, H. *La cocina y los alimentos*. Debate (Ed.), Madrid, España. 944 páginas. (2007). ISBN: 9788483067444.

- Pollard, T.D., Earnshaw, W.C., y Lippincott-Schwartz, J. *Cell Biology* (*Biología celular*). Saunders (Ed.), Philadelphia, PA, EE.UU. (2007). 928 páginas. ISBN: 9781416022558.

- Protz, R. *The Complete Guide to World Beer* (*La guía completa del mundo de la cerveza*). Carlton Books (Ed.), Londres, Reino Unido. (2004). 240 páginas. ISBN: 9781844428656.

- Serafini, A. *The Epic History Of Biology* (*La historia épica de la Biología*). Basic Books (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2001). 408 páginas. ISBN: 9780738205779.

- Tannahill, R. *Food in History* (*La comida en la historia*). Broadway (Ed.), New York, NY, EE.UU. (1995). 448 páginas. ISBN: 9780517884041.

Bibliografía del libro "Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein"

- Bodanis, D. *Electric Universe: The Shocking True Story of Electricity* (*Universo eléctrico: la escandalosa verdadera historia de la electricidad*). Crown Publishing Group (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2005). 320 páginas. ISBN: 9781400045501.

- Hamilton, D. *A History of Organ Transplantation: Ancient Legends to Modern Practice* (*Historia de los trasplantes de órganos: desde las leyendas antiguas a la práctica moderna*). University of Pittsburgh Press (Ed.), Pittsburgh, PA, EE.UU. (2012). 560 páginas. ISBN: 9780822944133.

- Pollard, T.D., Earnshaw, W.C., y Lippincott-Schwartz, J. *Cell Biology* (*Biología celular*). Saunders (Ed.), Philadelphia, PA, EE.UU. (2007). 928 páginas. ISBN: 9781416022558.

- Salmerón Jiménez, M.A. *Mary Shelley y la ciencia de Víctor Frankenstein.* (2007). Revista la Ciencia y el Hombre, Volumen XX, número 2. Universidad Veracruzana, México.

- Scott, M. *Strange Science, the rocky road to modern paleontology and biology* (*Ciencia Extraña: el complicado camino hacia la paleontología y la biología moderna*). (2012). http://www.strangescience.net.

- Shelley, M. *Frankenstein or the modern Prometeus* (*Frankenstein o el Prometeo moderno*). eBooks@Adelaide, Biblioteca de la Universidad de Adelaida (Ed.), Adelaida, Australia del Sur, Australia. (1831, edición revisada de la original de 1818). 172 páginas.

- Squire, L., Bloom, F., Spitzer, N., du Lac, S., Ghosh, A., y Berg, D. *Fundamental neuroscience* (*Neurociencia fundamental*). Academic Press (Ed.), Waltham, MA, EE.UU. (2008). 1280 páginas. ISBN: 9780123740199.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a las autoridades de la Especialización, no solamente a aquellas personas que la dirigieron, sino también a quienes tuvieron la iniciativa para su creación, tanto la gente de FaMAF, ECI y Rectorado de la Universidad Nacional de Córdoba, como quienes desde el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba dieron su apoyo y financiación. Dentro de ese grupo especial de personas, quisiera agradecer en particular a la Dra. Carolina Scotto, al Ing. Tulio del Bono, al Dr. Guillermo Goldes y a la Lic. Eliana Piemonte.

En segundo lugar, quiero dar mi especial agradecimiento a mis compañeros de la Especialización, sin los cuales hubiera sido imposible continuar cursando durante días y horarios tan complejos, tanto para mi actividad laboral como para mis tiempos familiares y personales. Ellos me demostraron que profesionales que provienen de tantas disciplinas diferentes pueden trabajar en equipo de una manera amena y organizada, y que en pocos meses se pueden hacer más amigos que los que uno ganó durante toda su vida.

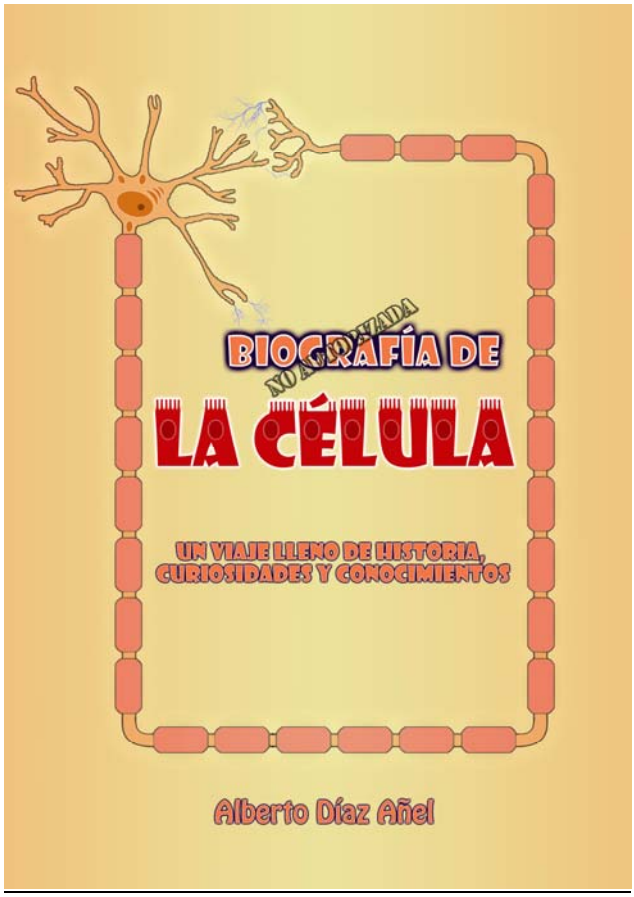
También va mi agradecimiento al plantel docente, muchos de los cuales fueron capaces de superar la prueba de manejo de un grupo “complicado”, y que ampliaron mis conocimientos de una forma inimaginable, haciéndome entrar a mundos a los que nunca antes había tenido el privilegio de acceder, sobre todo en el área de las ciencias sociales. Particularmente quisiera agradecerles a Diego Hurtado de Mendoza, Ana María Vara, Marisa Velazco, Mónica Viada, Diego Ludueña, Nidia Abatedaga y, muy especialmente, a Susana Gallardo, que llevó a cabo su tarea de tutora de este trabajo con gran compromiso, paciencia y profesionalidad.

Finalmente quisiera agradecer a los miembros de mi familia que siempre me apoyaron en mis iniciativas. En primer lugar a mi madre, Martha Añel, que nunca puso trabas a mis decisiones y siempre me apoyó incondicionalmente en todo lo que hice, y a mi padre, Federico Díaz, del cual heredé muchas de las habilidades que se plasmaron en estos libros, y que se fuera de este mundo un par de meses antes de que comenzara a cursar esta Especialización. Y en segundo lugar, y no por eso el menos importante sino el principal, quiero darle las gracias a mi amada esposa, Marcela, que no solo me acompaña desde hace casi veinte años en el camino de la vida, sino que apoya todas mis iniciativas y además me alienta a que las continúe cuando comienzo a flaquear. Por enseñarme, por compartir y aprender conmigo algo nuevo todos los días. Y por superar juntos los golpes que nos dio la vida y que no lograron separarnos, porque juntos somos invencibles.

Anexo 1

Libro “Biografía no autorizada de la célula: un viaje lleno de historia, curiosidades y conocimientos”

Formato libro estándar de 150 x 210 mm, letra Times New Roman tamaño 10, con cubierta ilustrada, índice y bibliografía.



ÍNDICE

PRÓLOGO 3

CAPÍTULO 1 - Células y civilización: microorganismos que
Ayudan al hombre 5
Con una pequeña ayudita de mis amigos 5
No solo de pan vive el hombre 6
Barrilito de cerveza 9
Tómese otra copa, otra copa de vino 11
Composición tema: La Vaca 14
Como agua para chocolate 16
Microorganismos que matan microorganismos 19

CAPÍTULO 2 - La era del microscopio: ¡ahora no se nos van a escapar! 23
El ojo que todo lo ve: la palabra *célula* aparece en nuestro vocabulario 23
Nace la "Teoría Celular" 25
La "fuerza" interior: cromosomas y organelas 26
Se acabó la magia: adiós a la generación espontánea 29
El descubrimiento de los asesinos invisibles 31

CAPÍTULO 3 - Las células por dentro: maravilla de la naturaleza 37
Viaje al centro de la célula 37
Barrera selectiva: la membrana plasmática 38
Andamiaje y autopistas: el citoesqueleto 40
Almacenamiento y regulación de la información: el núcleo 41
Paréntesis nuclear 1: funciones del núcleo 42
Paréntesis nuclear 2: herencia - de tal palo, tal astilla 44
Antes de seguir, ¿cómo se dividen las células? 48
Fuente de energía: la mitocondria 49
Panel solar: el cloroplasto 51

La fábrica más eficiente: retículo endoplásmico y aparato de Golgi 52
¡Hay que reciclar!: endosomas y lisosomas 53

CAPÍTULO 4 - Una célula, muchas células: la variedad de la vida 56
Dominios celulares: a falta de núcleo, bueno es un cromosoma 56
Procariotas extremos: las *Archaea* 56
Procariotas útiles y malvados: las bacterias 57
Eucariotas sencillos: protistas y hongos 59
Protistas 59
Hongos 61
Eucariotas complejos: plantas y animales 62
Plantas 62
Animales 64
Un capítulo aparte: las células de nuestro cuerpo 67
Almacenamiento 67
Secreción 68
Cemento celular 68
Sangre y sistema inmune 69
Sensoriales 69

EPÍLOGO 72

BIBLIOGRAFÌA 75

PRÓLOGO

¿Por qué escribir un libro sobre la célula? ¿Es más, para qué leerlo? ¿Qué tiene ese ente microscópico que le pueda interesar a alguien que está más preocupado por llegar con el sueldo a fin de mes, aprobar un examen del colegio u organizar un asado con los amigos?

Bien, la idea central de este libro no es solamente mostrar una serie de datos inherentes a las células y el mundo que las rodea, sino también aprender un poco de su historia, quiénes hicieron posible que hoy las conozcamos al detalle, y descubrir cómo nos han venido acompañando durante siglos - para bien y para mal - sin que nos diéramos cuenta de su existencia por mucho tiempo.

Con este libro vamos a emprender un viaje. A través de él vamos a ir al pasado, aunque no muy lejos, ya que si bien existen células desde hace millones de años, el concepto de su existencia apenas supera los tres siglos. De cualquier manera, también iremos un poco más atrás y haremos un repaso de cómo las células vienen ayudando al hombre desde hace miles de años, aunque en esas épocas éste no lo haya notado. ¿Y cómo se manifestó esa ayuda? Prepárense un sándwich de pan y queso, sírvanse una copita de vino o un vaso de cerveza -o los dos si prefieren-, y no solo van a tener un acompañamiento para leer este libro, sino también una pista. Ah, y de postre algo de chocolate ¿No se dieron cuenta todavía? La respuesta la van a tener pronto, en el primer capítulo del libro.

Más adelante conoceremos a los hombres a quienes debemos el concepto de "célula". ¿Por qué ese nombre y no otro? Pero aun antes que eso vamos a conocer a los científicos que con sus invenciones nos permitieron enterarnos de la existencia de las células, porque como se imaginarán no son tan fáciles de distinguir a simple vista. Y si no se lo imaginan, con este libro van a aprender por qué para observar a una célula no alcanza con nuestros ojos. ¡Ni siquiera con los anteojos puestos!

Después el viaje se va a tornar más simple. ¿O más complicado? Más simple porque ya sabremos que es una célula, pero más complicado porque empezaremos a descubrir que no es una esfera llena de gelatina que crece y se multiplica, sino que está formada por minúsculas estructuras

complejas, cada una con funciones específicas que son las que le dan "vida" a la célula.

Así iremos transitando una senda que sigue casi el mismo orden en el que se fueron revelando todos los aspectos relacionados a las células. Primero vamos a verlas como un todo, y luego iremos incrementando el "aumento", tal cual se hace con un microscopio. De esta manera descubriremos paso a paso la "maquinaria" que las hace funcionar de una manera cercana a la perfección.

Finalmente transitaremos por la evolución de los organismos que viven en nuestro planeta, para ir viendo cómo el desarrollo y el aumento en la complejidad de las células contribuyeron a la gran variabilidad de especies que existen. Recorreremos un camino que nos llevará desde las células más sencillas hasta las más especializadas, donde vamos a ver que si bien todas tienen muchas cosas en común, también se pueden dar el lujo de variar enormemente en forma, tamaño y función de acuerdo a lo que les dicte el ambiente que las rodea, las células vecinas o a qué parte de qué organismo pertenezcan.

Esperemos que el viaje que iniciaremos a partir de ahora sea entretenido y que le permita al lector ampliar sus conocimientos sobre algo que puede parecer sin importancia, minúsculo, insignificante, pero que contiene la esencia de la vida misma, y que todos conocemos como "la célula".

Capítulo 1

Células y civilización: microorganismos que ayudan al hombre

Con una pequeña ayudita de mis amigos

Actualmente sabemos que nuestros cuerpos están formados por millones de células que trabajan de manera coordinada, pero para que ello ocurriera hubo que esperar miles de millones de años de evolución, ya que en el principio de la vida las células se las arreglaban por sí mismas para sobrevivir. Afortunadamente, muchos descendientes de esos organismos primigenios aun están entre nosotros y siguen trabajando en solitario, y fue en parte gracias a muchos de ellos y su denodada colaboración que nuestra especie pudo dar los grandes pasos que se necesitaban para crear las grandes civilizaciones que sentaron las bases de lo que es nuestro mundo actual.

Definición de célula (para impacientes)
(Del latín cellulla, diminutivo de cella, hueco).
1. *f. Biol. Unidad fundamental de los organismos vivos, generalmente de tamaño microscópico, capaz de reproducción independiente y formada por un citoplasma y un núcleo rodeados por una membrana".*
¿Qué quiere decir todo esto? Que las células son la mínima expresión de lo que se considera un ser vivo, ya sea individualmente –los *unicelulares*- o formando organismos más complejos –los *pluricelulares*-; que solo pueden verse con la ayuda de microscopios; que pueden multiplicarse por sí solas sin ayuda de nadie; que están delimitadas por una membrana, y cuyo contenido está formado por un *citoplasma* –que veremos tiene muchos componentes- y que dentro del mismo está contenida una estructura central o *núcleo*, que su vez almacena y protege la información genética necesaria para que esas células vivan y se reproduzcan.

Dichas civilizaciones se desarrollaron, entre otras cosas, gracias a su eficiencia para alimentar a las poblaciones de las grandes ciudades que comenzaron a establecerse hace miles de años, hecho que contó con la invaluable ayuda de un gran número de organismos microscópicos formados por una sola célula, y a los cuales se los conoció como

unicelulares, a diferencia de nosotros, que al estar formados por muchas células somos *pluricelulares*. De cualquier manera, los humanos de aquel entonces no tenían ni idea de los servicios que estaban recibiendo de parte de estas entidades invisibles a nuestros ojos, ya que el concepto de "célula" se desarrolló recién a mediados del siglo XVII, hace unos trescientos cincuenta años, cuando los primeros microscopios aparecieron en escena.

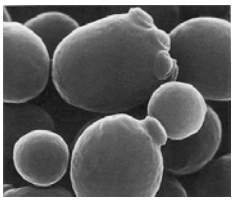
Tal cual ocurrió con la historia de la humanidad, vamos a ver primero cómo algunas células contribuyeron a que estemos parados donde estamos ahora, y como aun nos siguen ayudando. Más adelante veremos con más detalle cómo se fue construyendo el concepto de célula, a través de la contribución de las agudas observaciones de grandes científicos e inventores. Pero como adelanto para los más impacientes, y para no crear más expectativa, en el recuadro que acompaña a este texto tienen una definición actual de lo que es una célula, según una de las fuentes más precisas que se puedan consultar: el diccionario de la Real Academia Española.

No solo de pan vive el hombre

Lo que dice el título es una gran verdad, pero tenemos que reconocer que el pan es uno de los alimentos más antiguos entre los elaborados por el hombre, y que además posee un papel central en la dieta de la mayoría de la población humana.

Y qué tiene que ver el pan con las células? Mucho. Posiblemente algunos ya lo sepan, pero para que un buen pan sea esponjoso y suave se necesitan organismos unicelulares, a los cuales se los conoce con el nombre de *levaduras*. Si, ese cubito húmedo de un olor bastante agradable, o ese polvito granulado que se utilizan para "levar" (de allí el nombre de estas células) el pan o la masa de la pizza, son nada más y nada menos que un montón de células concentradas. Es más, son hongos unicelulares. El tipo más común de levaduras utilizado en panadería tiene como nombre científico *Saccharomyces cerevisiae*, que quiere decir algo así como "hongo del azúcar cervecero", ya que también se las utiliza en la producción de esa venerable bebida alcohólica, de la cual nos ocuparemos más adelante.

Ahora bien, para alcanzar un número de células tan grande como el que se requiere para levar un pan, este tipo de organismos necesita reproducirse rápidamente, y lo hace por un proceso conocido como *gemación*. ¿Y qué es la gemación? Es un tipo de división celular en la que la célula se escinde en dos partes de tamaño muy desigual, la menor de las cuales se conoce con el nombre de yema. Obviamente esta yema no tiene nada que ver con la de los huevos, pero si es similar al brote de las plantas que también recibe ese nombre, y que es de donde se van a originar ramas, hojas y flores. La gemación es un ejemplo claro de que las células son capaces de reproducirse independientemente, ya que a partir de una célula progenitora se forman dos células "hijas", que a pesar de ser de diferente tamaño al principio, luego de un tiempo se hacen indistinguibles una de la otra.



Levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae*

Si bien las levaduras panaderas son hongos, no son del tipo dañino para la salud como otros organismos similares que a veces nos traen a maltraer, sobre todo en épocas de alta humedad. De cualquier manera eso no importa mucho, ya que todas ellas mueren en el horno luego de haber cumplido su misión. ¿Y cuál es su misión? Por supuesto, levar la masa. ¿Y cómo es que estos diminutos seres pueden inflar una masa en tan pocos minutos? Bien, esto se debe a un proceso llamado *fermentación alcohólica*. La palabra fermentación proviene del latín *fervere*, que quiere decir "hervir", ya que si se colocan a las levaduras en agua y azúcar, luego de un rato va a parecer que la mezcla hierve. Eso mismo es lo que ocurre en la masa del pan. No es que realmente la masa hierva, simplemente que las levaduras llevan a cabo un proceso que es muy normal para ellas cuando se las pone en un ambiente húmedo, cálido y en presencia de azúcares, que son su alimento.

La harina de trigo que se utiliza comúnmente para hacer pan, posee en su gran mayoría -casi dos tercios- gránulos de almidón. Sí, el mismo que se usaba para planchar la ropa. El almidón es nada más y nada menos que una larga cadena cuyos eslabones son unas moléculas de azúcar llamadas

glucosa. Cuando se agrega agua a la harina, los gránulos de almidón la absorben y las cadenas que lo forman se empiezan a romper liberando a sus eslabones -la glucosa-, que les sirven a las levaduras como fuente de nutrición.

Una vez que la glucosa está disponible, las levaduras se alimentan de ella para obtener la energía que necesitan para reproducirse –la gemación de la que hablábamos antes-, liberando etanol -el alcohol de farmacia- durante este proceso, junto con un gas, el dióxido de carbono, el mismo que nosotros liberamos al respirar. Ese gas es el que infla a la masa durante el proceso de levado, y lo que le da al pan esos agujeritos que lo hacen más suave y esponjoso. Lo que logra el horneado posterior al levado es que el dióxido de carbono se libere, el etanol se evapore y, lamentablemente, las levaduras mueran. Pero no se habrán sacrificado en vano, porque gracias a ellas tenemos un alimento mucho más apetecible.

¿Y desde cuando las levaduras han ayudado al hombre a hacer el pan? Según los historiadores, desde tiempos prehistóricos, aunque las primeras evidencias arqueológicas que relacionan a la producción de pan con las levaduras datan del Antiguo Egipto, hace unos seis mil años. Aparentemente el proceso de fermentación se dio por accidente, ya que es muy común que en el aire existan esporas de estos hongos -que es otra de las formas en la que se reproducen y que veremos con detalle más adelante-, las que aparentemente se posaron en masas que estaban descansando antes de ser horneadas. Esas levaduras hicieron que el pan fuera más suave y agradable al paladar.

Otro pequeño truco utilizado en Europa por los galos y los íberos entre los siglos I y V antes de Cristo, fue el de agregar a la masa la espuma de la cerveza, que también es elaborada por las levaduras, produciendo así un efecto más impresionante de levado que daba lugar a un pan todavía más liviano.

La madre de todas las masas

Para poder mantener y hasta mejorar el efecto de levado, parece que los antiguos egipcios guardaban una porción de la masa del día anterior para preparar la del siguiente, preservando así una mayor cantidad de levaduras -aunque sin saberlo- que las que se pudieran obtener del aire. Este sistema todavía es utilizado en algunos tipos de panes muy especiales, como el pan de masa ácida de San Francisco, en Estados Unidos, cuya "masa madre" aparentemente viene utilizándose desde mediados de los mil ochocientos, o sea ¡hace más de ciento cincuenta años!

Uno de los documentos más extraordinarios que muestran la existencia de "panaderías" desde tiempos muy antiguos proviene de la tumba de Ramsés III, en el Valle de los Reyes en Egipto. Allí se encontró un bajorrelieve en donde puede verse una de las panaderías de la corte del mencionado faraón, en donde se advierten hogazas de pan de diferentes tamaños, inclusive con formas de animales, y se observa también la febril actividad de los panaderos, moliendo granos, amasando y horneando. Esto demuestra la importancia que tenía el pan en el Antiguo Egipto, a tal punto que se lo utilizaba como parte de pago, pero eso lo veremos en la siguiente sección de este capítulo.

El hecho de que el pan se levara "mágicamente" creó algunas historias curiosas en el pasado, las cuales probablemente ahora nos causen gracia, pero que en su momento fueron algo serio. Por ejemplo, en la Inglaterra del siglo XV, a la espuma de la cerveza que era utilizada para hacer pan se la llamaba *goddisgoode* -que quiere decir algo así como "God is good" o "Dios es bueno"-, por considerarse que estaba hecha a través de una bendición de Dios.

Basándose en la Biblia, en el siglo XVII la Facultad de Medicina de París sugirió la prohibición del uso de la espuma de cerveza para la fabricación del pan por considerarla dañina para la salud, ya que en su primera carta a los Corintios, San Pablo decía que era una sustancia corrupta. De cualquier manera los panaderos la siguieron utilizando de manera clandestina, ya que gracias a ella podían preparar el pan liviano que tanto le gustaba a la población.

En 1680, con la invención del microscopio, pudieron verse las primeras levaduras, pero en ese momento no se las consideró como seres vivos. Es más, unos ciento cincuenta años más tarde hubo un pequeño desencuentro entre dos científicos alemanes, Theodore Schwann (1810-1882) y Justus Liebig (1803-1873), acerca del papel de las levaduras en la fermentación. Schwann afirmaba que las levaduras eran seres vivos y los definió como hongos, llamándolas *Zuckerpilz*, u hongos del azúcar en alemán, lo que fue traducido luego al latín por su compatriota Julius Meyen (1804-1840) como *Saccharomyces*, que es el nombre científico por el cual las

conocemos actualmente. Por su parte, Liebig, al igual que otros químicos de la época, aseveraba que las levaduras eran solamente un residuo de la descomposición de los azúcares. Por suerte pocos años después apareció el científico francés Louis Pasteur para probar que Schwann estaba en lo correcto, pero eso ya es otra historia.

Barrilito de cerveza

Como hemos mencionado en la sección anterior, las levaduras también participan en la fabricación de la cerveza. A diferencia del pan, el alcohol que producen estos microorganismos durante la fermentación, el etanol, no se pierde sino que forma parte de la bebida que se está produciendo. Por lo tanto, el grado alcohólico de la cerveza depende del trabajo de estos pequeños seres microscópicos.

Primero hagamos un repaso de cómo se hace la cerveza. Al igual que con el pan, las levaduras necesitan azúcares para fermentar y producir etanol y dióxido de carbono. En el caso de la cerveza, esos azúcares también provienen del almidón, pero en este caso no del trigo, sino de otro cereal, la cebada. Pero ese almidón no está tan disponible como en la harina de trigo, ya que en la producción de cerveza se utilizan los granos enteros. ¿Y entonces como se hace? Se lleva a cabo un pequeño truco que es el llamado *malteado* de la cebada. El malteado consiste en agregarle agua a los granos de cebada y dejarlos germinar por unos días. Sí, de manera similar a como se lleva a cabo la germinación del poroto que todos alguna vez hicimos en la escuela ¿Y para qué sirve todo esto? Cuando la semilla comienza a crecer, empiezan a activarse dentro de ella unas proteínas llamadas *enzimas*. Las enzimas son unas proteínas muy particulares, ya que tienen la capacidad de hacer diferentes tipos de labores. En el caso de las que se activan en la cebada, su trabajo consiste en fragmentar al almidón hasta transformarlo en azúcares más simples, para que a las levaduras les resulte más fácil alimentarse.

Pasado un tiempo, las semillas germinadas se calientan para detener el proceso. Esto se puede hacer de varias formas diferentes, y de la temperatura y el grado de tostado depende la oscuridad de la malta -la cebada "malteada"-, la cual se va a reflejar en el color final de la cerveza.

Posteriormente se macera la malta para formar una mezcla con todos los ingredientes necesarios para la fermentación, sobre todo los azúcares simples. En ese momento se calienta el macerado a altas temperaturas para terminar de destruir a las enzimas que ya han cumplido su cometido.

A esta mezcla se la filtra para sacar los restos de granos, y lo que queda es conocido como *mosto*, que son todos los contenidos de la cebada disueltos en agua. Al mosto se lo calienta nuevamente para matar cualquier otro organismo contaminante -no se olviden que es rico en azúcares, por lo tanto cualquier cosa puede crecer ahí adentro-, y se le agrega el lúpulo. El lúpulo es una planta trepadora cuya flor se utiliza en la producción de la cerveza con varios fines. Por un lado compensa el dulzor de la malta con los sabores amargos típicos de la cerveza, y que proceden de algunos ácidos contenidos en la flor, y por otro lado le da un aroma propio que proviene de aceites volátiles. Además, esos ácidos del lúpulo tienen un leve efecto antibiótico, impidiendo que crezcan algunos tipos de bacterias que podrían contaminar el mosto.

De cualquier manera, a pesar del calentamiento y de la adición de lúpulo, éste último debe ser retirado para la fermentación, existiendo a partir de allí un gran peligro de contaminación. Entonces, se enfría el mosto lo más rápidamente posible para evitar el crecimiento de cualquier microorganismo que anduviera suelto por allí, algo similar a lo que hacemos cuando ponemos nuestros alimentos y bebidas en la heladera para que duren más tiempo. Es recién en ese momento cuando se agregan las levaduras, que en muchos casos son de diferente tipo según la cervecería que las utilice, dándole a cada cerveza una característica propia.

En la primera etapa, las levaduras se multiplican rápidamente gracias a la alta concentración de oxígeno del mosto, produciéndose a partir de ese momento una gran cantidad de espuma. Una vez que se acabó el oxígeno, las levaduras comienzan a utilizar los azúcares como fuente de energía para producir el etanol y el dióxido de carbono, lo cual ocurre en un período de una a tres semanas. Dependiendo del tipo de cerveza, se puede filtrar, pasteurizar -ya vamos a ver qué es eso- y embotellar, o se puede pasar a una segunda etapa de fermentación, como con las cervezas artesanales, en donde se les agrega más mosto y levaduras, y se las deja madurar por largo tiempo para fortalecer sus aromas y sabores.

Bien, ya sabemos cómo fabricar cerveza. Ahora bien, ¿cómo se hacía en la antigüedad? Parece que la cerveza es la bebida más antigua creada por el hombre. Y además, como vimos, va de la mano del pan. Se ha llegado a decir que el descubrimiento de la fabricación del pan y la cerveza fueron responsables de la habilidad de la humanidad para iniciar y desarrollar lo que hoy conocemos como civilización, de allí el título de este capítulo. Según Roger Protz, en su "Guía Completa al Mundo de la Cerveza" del año 2004, "*cuando la gente del mundo antiguo se dio cuenta que podían hacer pan y cerveza a partir de granos, dejaron de deambular y se asentaron para cultivar cereales en comunidades convencionales*".

Los primeros indicios de la fabricación de cerveza datan de hace unos cinco mil quinientos años, en la antigua región de Elam, actualmente Irán. Allí aparecen las primeras pistas arqueológicas de la fermentación de la cebada por parte de las civilizaciones Mesopotámicas.

La receta de cerveza más antigua conocida se encuentra en el Papiro del griego Zósimo de Panápolis, del siglo III, el primer alquimista del que se tenga conocimiento. Si bien existe una receta anterior que aparece en el canto de los Sumerios -que vivieron hace miles de años en el sur del actual Irak- dedicado a la diosa de la elaboración de la cerveza, Ninkasi, este canto es más una descripción del proceso de fabricación que una receta detallada.

En el Antiguo Egipto tanto la cerveza como el pan servían como forma de pago. Durante el Reino Antiguo (2686-2160 a.C.) la paga diaria de los trabajadores de las pirámides era de diez hogazas de pan y dos jarras de cerveza, mientras que por ejemplo el superintendente -algo así como el administrador- del Templo de Kahun, recibía dieciséis hogazas de pan y ocho jarras de cerveza diarias durante el Reino Medio (2030-1640 a.C.). El pago a los trabajadores era el mínimo entre

Las cosas en orden

La desorganización cervecera finaliza en 1516 cuando el Duque Guillermo IV de Baviera (1493-1550) redactó una ley para fijar qué ingredientes debía tener una cerveza para merecer ser llamada por ese nombre. Esta legislación fue conocida como *Ley de Pureza*, y establecía que para fabricar cerveza debían utilizarse solamente agua, malta de cebada y lúpulo. Esta ley fue abolida recién en 1987, permitiéndose otros agregados como malta de trigo y caña de azúcar, pero aquellas cervezas que aun cumplen la Ley de Pureza reciben una protección especial por tratarse de alimentos tradicionales.

las diversas jerarquías, y si bien la cerveza de la época era menos alcohólica y más calórica, parece que apenas alcanzaba para mantenerlos con vida.

Ya más adelante en el tiempo, se sabe que las cervezas europeas, producidas a escala doméstica desde la época de los celtas y los germanos, además de la fuente de almidón poseían frutas, miel, varios tipos de plantas, especias y otras sustancias, entre ellas drogas narcóticas. Tenían cualquier cosa menos lúpulo, el cual recién es mencionado como ingrediente por un Abad en el año 822, y luego por la Abadesa alemana Hildegard de Bingen (1098-1179).

Tómese otra copa, otra copa de vino

Siguiendo con las bebidas alcohólicas, ahora vamos a hablar de una de las más antiguas y famosas de la humanidad, el vino, que ha servido de inspiración tanto a poetas como a guerreros, y que, como no podía ser de otra manera, también es fabricada por microorganismos. ¿Otra vez la levadura? Sí, otra vez. Y como lo hemos venido haciendo hasta ahora, comenzaremos por explicar el procedimiento actual para su elaboración, y después pasaremos a contar su historia.

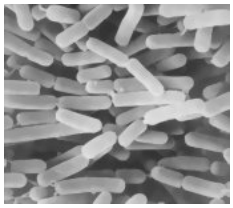
El proceso para obtener un buen vino es algo más simple que el de la cerveza. Para empezar, no hay que agregar agua ni fabricar malta para un fácil acceso de las levaduras a los azúcares. La uva tiene suficiente agua, glucosa y fructosa en su interior como para alimentar a los microorganismos. Por otro lado, tampoco hay que añadir levaduras, ya que estas viven cómodamente en el hollejo o piel de las uvas. ¿Vieron ese polvillo blanquecino que se junta en la superficie de las uvas sin lavar? Bueno, esas son las levaduras. Luego que las uvas son cosechadas se procede directamente a triturarlas, lo cual hace que los pequeños hongos obtengan un rápido y fácil acceso a los azúcares del mosto resultante, permitiéndoles comenzar con la fabricación de alcohol de manera inmediata.

Para la mayor parte de los vinos, el paso siguiente a la fermentación por parte de las levaduras es el *trasiego*, que es el pasaje del mosto fermentado a otro recipiente para separarlo de los sedimentos sólidos que se van acumulando en el fondo -que sería algo así como la borra del vino-. Posteriormente se realiza la *clarificación*, agregando agentes vegetales o

animales que arrastran aquellas partículas que puedan haber quedado flotando y que opacarían al vino. El *clarificante* más común, sobre todo para vinos tintos, es la albúmina, una proteína que abunda en la clara de huevo. Unas cuantas claras casi a punto nieve se le agregan al vino, y luego de unos días la albúmina se encarga de atrapar a aquellas partículas diminutas que pudieran quedar flotando en el vino. Luego se trasiega por última vez, y finalmente llega la etapa de *crianza*, que se realiza generalmente en vasijas de roble o de acero, y que depende del tipo de vino y del tiempo que se desee añejar al mismo.

En algunos vinos, sobre todo los tintos, además se lleva a cabo lo que se conoce como fermentación secundaria o *maloláctica*. El *ácido málico* es uno de los tres ácidos orgánicos que posee la uva -los otros son el *tartárico* y el *cítrico*-. Terminada la fermentación alcohólica llevada a cabo por las levaduras, comienzan a actuar unas bacterias del tipo *Lactobacillus*, que transforman ese ácido málico en *ácido láctico*, un producto de constitución suave y agradable que le aporta al vino mejores aromas, sabores y estabilidad.

Para terminar de describir a las células que participan en la producción de la bebida que nos compete en esta sección, hablaremos de un tipo de vinos muy especiales que necesitan de un hongo diferente a la levadura. Es diferente porque es del tipo *mohoso*, como aquellos que forman esa "pelusita" azul-verdosa en las naranjas dejadas mucho tiempo a la intemperie. Este moho es de un tipo muy particular llamado *Botrytis cinerea*, o "racimo de uvas ceniciento", llamado así por el color gris que toman las uvas cuando están cubiertas de sus esporas. Este hongo infecta algunos tipos particulares de uvas, como las *Riesling* típicas de Alemania, produciendo en condiciones apropiadas de humedad seguidas por sequedad lo que se conoce como la *podredumbre noble*. Durante este proceso de nombre tan original, el hongo elimina el agua de las uvas -quedan casi como pasas-, haciendo que los



Bacterias *Lactobacillus acidophilus*

azúcares de su interior se concentren, dando finalmente un producto mucho más dulce. Los vinos de este tipo más famosos mundialmente son el *Sauternes* del sur de Francia, y el *Tokaji* de la región del mismo nombre en Hungría.

Ahora bien, vamos a conocer la rica historia de esta bebida tan popular, la cual está plagada de anécdotas, así que trataremos de ser breves, ya que después de todo este es un libro sobre la célula y no sobre el vino.

Según datos arqueológicos, la producción de vino se remonta unos ocho mil años atrás, en regiones que actualmente pertenecen a Irán y al sur de la ex-Unión Soviética, mientras que los primeros indicios de la "domesticación" de las uvas por el hombre llegan a unos cinco mil años de antigüedad, en el Medio Oriente, Sumeria y Egipto, lo cual le daría una leve ventaja de quinientos años a la cerveza como la bebida más antigua.

En Egipto el vino jugó un importante papel en diversos tipos de ceremonias, algo que al día de hoy se mantiene vigente en diversas culturas, ya sea desde el brindis diario en la mesa familiar, como en la celebración de la misa Cristiana. En los primeros tiempos de la civilización egipcia el vino estuvo rodeado de mucha superstición debido a su semejanza con la sangre. Los antiguos faraones no bebían vino por creer que era la sangre de aquellos que habían batallado contra los dioses, pensando inclusive que la locura que producía una borrachera se debía a que los bebedores habían sido invadidos por la sangre de sus antepasados. Como se habrán dado cuenta, el concepto vino-sangre es mucho más antiguo de lo que nos podíamos imaginar, aunque los significados de este paralelismo no han sido siempre tan fatídicos como lo eran para los egipcios antiguos.

Los simuladores

En Argentina existe un tipo de vinos que imitan a los famosos –y caros- blancos dulces "noblemente podridos". Estos "impostores" son conocidos con el nombre de *cosecha tardía*, pero para producirlos no hay otro hongo de por medio que no sea la levadura. Este tipo de vinos se obtienen mediante la utilización de uvas pasadas de maduración, lo que permite que se concentren mucho más sus azúcares, dándoles ese dulzor extra que los acerca aunque sea un poco al sabor de sus parientes europeos.

La primera civilización que comenzó a extender la producción del vino fue la griega, a través de la exportación de esta bebida por todo el Mar

Mediterráneo. Los griegos transportaban el vino en unas vasijas de cerámica llamadas *ánforas*, las cuales se han encontrado en yacimientos arqueológicos en lo que actualmente son grandes regiones vitivinícolas, como Italia, Sicilia, España y el sur de Francia. Además, fueron los griegos los que introdujeron en esas regiones las parras de *Vitis vinifera*, que es la vid que dio origen a casi todas las variedades de uva que existen en la actualidad.

Era tal la importancia de esta bebida por aquellas épocas, que los mismos griegos adoraban a un dios del vino, Dionisio, que además era la divinidad del placer y la festividad. Los romanos también adoraban al mismo dios, solamente que con otro nombre, Baco. En esas épocas se llevaban a cabo muchas fiestas en honor a Baco, en donde se bebía sin medida, y con el nombre de esas fiestas actualmente designamos a las celebraciones en las que se come y se bebe desenfrenadamente cometiendo todo tipo de excesos, o sea una *bacanal*. Cabe aclarar que Dionisio o Baco eran dioses del vino "sin mezclar". ¿Qué quiere decir esto? Que generalmente el vino se solía tomar diluido en agua y no puro, excepto en ocasiones especiales, como las bacanales. Los soldados, o más bien los generales, festejaban con vino puro sus conquistas, pero cuando tenían que planear una estrategia diluían el vino con cuatro a cinco partes de agua para poder mantener la lucidez.

Espumante celestial

Los monjes benedictinos fueron de los más destacados en la producción de vinos tras la caída del Imperio Romano, poseyendo importantes viñedos en las regiones francesas de Champaña, Borgoña y Burdeos, y en los territorios alemanes del Distrito del Rhin y Franconia. Fue justamente un monje benedictino el que revolucionó la industria de los vinos espumantes -como el champaña-, no solamente por la metodología para producirlos, sino también por la creación de un modelo de botella que aun hoy se emplea, y por la utilización del tapón de corcho. En su honor todavía existe una bebida con su nombre: Dom Perignon (1638-1715).

No todas las reuniones de la antigüedad en donde hubiera vino tenían que ser bacanales. Existía otro tipo de celebraciones denominadas *symposium*, que viene del griego y quiere decir "reunión para beber juntos". Actualmente se le da ese nombre, *simposio*, a conferencias de tipo académico, lo cual no quiere decir que por ser algo serio no haya alcohol implicado, si no no le hubieran dado ese nombre. La diferencia es que en la antigüedad el vino

se bebía durante y ahora se bebe después. O al menos eso es lo que dicen los que asisten a los simposios.

La tecnología para producir vino mejoró considerablemente gracias a los romanos. Mucho del desarrollo de las variedades de uva y técnicas de cultivo, el uso de barriles y botellas para almacenamiento, y la utilización de la prensa para producir el mosto se lo debemos a ellos.

Luego de la caída del Imperio Romano, allá por el quinientos después de Cristo, Europa entró en un período oscuro de invasiones y confusión social, excepto para la iglesia católica que era una de las pocas estructuras sociales estables de la época. Y fue gracias a la iglesia que el cultivo de las vides y la tecnología de la producción de vino pudieron ser preservados durante este período, sobre todo por la importancia del vino para esta religión, ya que era utilizado para celebrar la misa.

Composición tema: La Vaca

¿La vaca es un microorganismo que produce leche? No, el título no se refiere a eso. Si bien la vaca al igual que nosotros está compuesta por muchas células, uno de sus productos más utilizados, la leche, es el origen de algunos subproductos que necesitan de microorganismos para ser fabricados, como el queso y el yogur. Del primero de ellos nos vamos a ocupar en esta sección.

Para hacer queso se necesita básicamente hacer un *cuajado*, que implica separar la parte sólida (cuajada) de la líquida (suero) de la leche. Para realizar este proceso se necesita un *cuajo* o fermento, que en este caso no son levaduras, sino una de las tan mentadas enzimas de las que hablábamos antes. En este caso particular es la *quimosina*, cuya función es separar la *caseína* -que representa el 80% de las proteínas de la leche- de la fase líquida, compuesta básicamente por agua y otras proteínas. La caseína, junto con el calcio de la leche, es necesaria para producir una especie de gel en el que quedarán atrapados la mayoría de los componentes sólidos de la leche para formar el queso.

La quimosina está presente en uno de los estómagos de los mamíferos rumiantes -vaca, oveja, cabra, búfala, camella-, y actualmente se puede obtener por síntesis química en forma de pastillas. Pero antiguamente

se sumergía el estómago de terneros lactantes en salmuera, y se dejaba reposar para que la quimosina difundiera al líquido, el cual se utilizaba luego para cuajar la leche.

¿Y donde están las células en este procedimiento? Bien, recién aparecen ahora. Una parte importante del cuajado es la *acidificación*, que ayuda a contraer la cuajada para que vaya expulsando el suero más eficientemente. Esta acidificación se da a través de bacterias *acidolácticas*, de las que hemos hablado en la descripción de la fabricación del vino. Estas bacterias, del tipo *Lactobacillus* o *Streptococcus*, transforman los azúcares de la leche en ácido láctico, lo cual no solo ayuda a la contracción de la cuajada sino que también contribuye a su futuro sabor mediante el proceso de *añejamiento*. En el caso de muchos quesos suizos, como el *Emmental*, se utiliza la bacteria *Propionibacter shermani*, que produce las burbujas de dióxido de carbono que le dan a esos quesos sus característicos agujeros (¿se acuerdan de los agujeros del pan?).

A partir de este paso comienzan las diferencias entre los quesos. Los más blandos solo deben ser deshidratados, salados y empaquetados, otros más duros son calentados a 35° C para acelerar la deshidratación y conseguir sabores más sutiles. Otros se estiran y sumergen en agua caliente para darle una textura fibrosa, como la *Mozzarella*. En quesos como el *Gouda* y el *Emmental*, se baja la acidez mediante el constante batido y lavado con agua de la cuajada.

Muchos quesos tienen añejamiento y *curado*. Éste último método generalmente modifica el sabor final. Entre los curados más típicos se encuentra el ahumado, el salado, el agregado de especias e incluso de vino al queso. Por último tenemos los famosos quesos verdes y azules, que se logran almacenando los quesos en lugares de alta humedad -cercana al 90%-, como por ejemplo cuevas y sótanos dedicados a tal fin. Esta condición permite la

Hay un gusano en mi queso

En Cerdeña, una isla del Mediterráneo que pertenece a Italia, existe una variedad de queso llamada *Casu Marzu*, al cual se le agregan larvas de la mosca del queso. Si bien las larvas se pueden comer, la venta de este queso está prohibida por las autoridades sanitarias italianas, lo que lleva a que se consuma en forma clandestina. Este debe ser uno de los pocos casos en donde se agregan organismos pluricelulares al queso.

proliferación de hongos tipo moho -como el de las uvas de los vinos *Sauternes* y *Tokaji*, que mencionáramos anteriormente-, que generalmente se introducen por medio de la dispersión de esporas del tipo *Penicillium* a través de perforaciones que se realizan en el queso. Las especies de estos hongos reciben el nombre del queso en el que se reproducen, como por ejemplo el *Penicillium camemberti* -en la corteza del queso *Camembert*- y el *Penicillium roqueforti* -en el interior del queso *Roquefort*-. ¿Les suena el nombre *Penicillium*? Sí, es verdad, se parece a *Penicilina*, uno de los primeros antibióticos descubiertos por el hombre. Justamente, la Penicilina es producida por hongos del grupo a los que pertenecen aquellos que se utilizan para la fabricación de los quesos verdes y azules. Ya entraremos más en detalle sobre este tema en la última parte de este capítulo.

¿Hacemos un poco de historia? Los orígenes de la elaboración del queso no están del todo claros, pero se ubicarían entre el año ocho mil antes de Cristo, cuando se domestica la oveja, y el tres mil antes de Cristo. Probablemente se haya originado en Asia Central o Medio Oriente, y luego de allí se extendió a Europa.

Existe una leyenda que dice que el queso fue descubierto por un mercader árabe que llevaba leche a través del desierto en un recipiente fabricado a partir de estómago de cordero. Cuando quiso beberla, descubrió que estaba coagulada y fermentada, debido al cuajo (quimosina) del estómago de cordero en conjunción con el calor del desierto. Si bien esta historia es difícil de comprobar, no deja de tener cierta lógica, ya que la mayoría de los alimentos de fabricación humana que hemos visto hasta ahora se han descubierto por casualidad o por accidente.

¿A qué no saben en donde se han encontrado las pruebas arqueológicas más antiguas de la fabricación del queso que datan de hace unos cuatro mil años? Por supuesto, en el Antiguo Egipto, una civilización que se preocupó bastante por documentar todos los acontecimientos de su sociedad para la posteridad. Se cree que esos quesos eran mucho más fuertes y salados, tipo el queso feta que tiene su origen en Grecia.

En Europa, con un clima más frío, no era necesario agregar tanta cantidad de sal para conservar los quesos, lo que permitió el desarrollo de bacterias y mohos que les dan los sabores característicos a muchos de los quesos que conocemos en la actualidad.

Como ocurrió con el vino, los antiguos romanos perfeccionaron las técnicas de manufactura del queso, expandiendo este conocimiento al resto de sus colonias europeas. Cada región desarrolló una gran variedad de quesos, llegando inclusive a que actualmente Francia e Italia posean unos cuatrocientos tipos de queso diferentes cada uno.

Con la caída de Roma, la artesanía del queso no progresó demasiado, al punto que muchos de los que conocemos actualmente aparecieron en la Baja Edad Media -Siglos XI al XV d.C.- o aun más tarde. Por ejemplo, el *Cheddar* británico data del año 1500, el *Parmesano* italiano es de 1597, el *Gouda* holandés de 1697 y el *Camembert* francés nació en 1791.

Como agua para chocolate

Bien, ¿todos los alimentos y bebidas de producción humana se crearon en Asia Central, Medio Oriente o Europa? Convengamos que las primeras civilizaciones nacieron en esas regiones, pero en nuestro continente no se quedaron atrás y, por ejemplo, la fermentación alcohólica ya se conocía para hacer bebidas espirituosas, como la *chicha*, que se produce a través de la fermentación de granos de maíz.

Pero existe otro alimento que nació en América, y del cual el resto del mundo es fanático, especialmente los europeos: el chocolate.

¿Para hacer chocolate también se usan microorganismos? Efectivamente, no existiría el chocolate tal cual lo conocemos si no hubiera una fermentación previa.

El chocolate proviene de los granos o semillas -amargas pero cubiertas por una pulpa dulce- del árbol de cacao, cuyo nombre científico es *Theobroma cacao*. Los indígenas latinoamericanos consideraban a esta semilla de tanta importancia, que el nombre del árbol en griego -*Theobroma*- quiere decir “alimento de los dioses”, tal como era conocido por aquellos que habitaban la región centroamericana.

Para producir el chocolate que todos conocemos, se abren las vainas que contienen la pulpa y las semillas, se las apila, se las cubre de hojas de banano y se almacenan en una caja cerrada. En un período de cinco a siete días la pulpa empieza a fermentar producto de los microorganismos que allí

existen, y se convierte en un caldo turbio que comienza a impregnar con su sabor a las semillas. En las primeras veinticuatro horas comienza la germinación –como con la cebada de la cerveza-, y las enzimas que se activan comienzan a separar la sacarosa de las semillas en glucosa más fructosa -una especie de "malteado" del cacao-. A partir de allí, los microorganismos presentes comienzan a utilizar esos azúcares, haciendo que esta actividad fermentadora aumente la temperatura dentro de la caja, llegando hasta unos cuarenta a cincuenta grados centígrados, lo cual detiene la germinación de manera natural y mata a algunos de los microorganismos presentes.

En la fermentación se da una sucesión de procesos que comienza con las levaduras que producen etanol a partir de azúcares, tal cual lo hacen siempre en condiciones de poco oxígeno. El aumento de etanol y de la temperatura hace que las levaduras dejen lugar a las bacterias lácticas, *Lactobacillus* y *Streptococcus*, y bacterias *ácido acéticas*, del tipo *Acetobacter*, que ante un medio más ácido y más aireado -lo que se logra removiendo la mezcla de pulpa y semillas de manera manual- comienzan a desarrollarse y a producir *ácido acético*, pero en pequeñas cantidades, sino el chocolate tendría un gusto avinagrado.

A los cinco días se lleva a cabo el secado, ya que si se dejara seguir el proceso por más tiempo los microorganismos comenzarían a invadir las semillas una vez consumida la pulpa y se pudriría todo. Finalmente, estas semillas se envasan y envían a las fábricas de chocolate, donde son tostadas a ciento veintiún grados centígrados para librarse definitivamente de aquellos organismos indeseables que pudieran arruinar el sabor.

Posteriormente se procede a quitarle la cáscara a las semillas y a triturarlas hasta que forman una pasta homogénea. Esta trituración con posterior batido se realiza a altas temperaturas, unos sesenta a ochenta grados centígrados, lo que permite que las grasas existentes se licuen dando lugar a una suspensión de sólidos en manteca de cacao. Esta suspensión se pasa por prensas hidráulicas para luego filtrarla, obteniendo de esta manera dos tipos de bloques separados, por un lado los de manteca de cacao y por el otro los de pasta de cacao, estos últimos con un porcentaje bastante reducido en grasas. Ambos bloques son luego combinados de varias formas junto con azúcar para producir las diferentes variedades de chocolate comestible que consumimos. La manteca de cacao es la que le brinda su brillo característico

al chocolate, siendo además utilizada en cosmética como base de lápices de labios, debido a que puede fundirse con la temperatura de la piel.

Ahora sí, vamos a la historia. Se cree que los primeros que utilizaron el chocolate fueron los olmecas, que vivieron en el actual sudeste mexicano hace aproximadamente unos tres mil años. Aparentemente la palabra olmeca *kakawa* es la que le dio el nombre actual al cacao.

De cualquier manera, el chocolate se hizo famoso gracias a los mayas, que habitaron en México unos mil años después de los olmecas, entre el 250 y el 900 d.C. Los mayas utilizaban las semillas de cacao como moneda, e inclusive preparaban una bebida a partir de estas semillas que se saboreaba en rituales religiosos o ceremonias matrimoniales. El procedimiento era similar al que se utiliza actualmente, es decir fermentación, secado, tostado y triturado hasta lograr una pasta, que en el caso de los mayas se mezclaba con agua caliente y especias, chile, vainilla, o miel. Muchas veces pasaban esta bebida de un recipiente a otro para formar una espuma que era una de las mejores partes del chocolate.

Así como los sumerios con la cerveza y los griegos y romanos con el vino, los mayas tenían también un dios para su bebida favorita. Este dios era llamado *Ek Chuah*, que además de ser la divinidad del cacao, también era dios de la guerra y la destrucción.

Posteriormente, los mayas fueron conquistados por los aztecas (1200-1500 d.C.), quienes continuaron con las tradiciones chocolateras de sus conquistados. Cuenta una leyenda que el dios azteca *Quetzalcoatl* le dio el cacao al hombre, hecho por el cual fue expulsado del paraíso, ya que se suponía que solamente los dioses podían disfrutar de tan exclusiva bebida.

Perdido en la traducción

Se cree que la palabra chocolate proviene del idioma *nahuatl*, el que hablaban los aztecas, por combinación de las palabras *xococ* o “agrio”, que básicamente describe el sabor de la bebida que ellos preparaban con las semillas de cacao, y *atl* o “agua”. Cabe aclarar que la "x" en ese idioma se pronuncia como una "sh", por lo que la palabra sonaría algo así como *shococatl*, que probablemente es lo que los españoles oyeron y posteriormente tradujeron como el nombre que utilizamos hoy en día en la mayoría de los idiomas del mundo: *chocolate*.

Luego vino la conquista española por parte de Hernán Cortés (1485-1547), que si bien no era fanático de esta bebida por su sabor muy amargo, se

dio cuenta de que luego de beberla se podía viajar toda una jornada sin cansarse y sin necesidad de alimentarse. Los beneficios calóricos y psicoactivos -activadores del sistema nervioso- del chocolate ya empezaban a notarse y a expandirse hacia el resto del mundo.

A partir de allí el cacao se comenzó a comercializar en Europa, y se le empezaron a realizar diferentes agregados para mejorar su sabor, siempre como bebida. Entre los primeros ingredientes añadidos al chocolate estuvieron el azúcar, la leche y la canela. Al principio se lo utilizaba como medicina -¡se vendía en farmacias!-, prescribiéndose para bajar la fiebre, calmar el dolor y ayudar en la digestión. Pero finalmente se empezó a hacer popular como bebida social, sobre todo por los beneficios que aportaba y que fueran notados por Cortés, como por ejemplo cuando la Iglesia adoptó al chocolate como un suplemento nutritivo para las festividades de ayuno.

Tuvieron que pasar más de tres siglos de la llegada del cacao a Europa para poder probar la primera barrita de chocolate. Gracias a la prensa hidráulica inventada en 1828 por el holandés Coenraad Van Houten (1801-1887), que permitió separar la pasta de la manteca de cacao, y a que en 1847 el inglés Joseph Fry (1795-1879) mezcló pasta de cacao y azúcar con manteca de cacao en lugar de agua caliente, hoy podemos disfrutar del chocolate sólido, que ha sido modificado y mejorado sutilmente por los expertos en el tema, los holandeses, los suizos y los italianos.

Microorganismos que matan microorganismos

Ahora bien, no todos los microorganismos son asesinos o causantes de enfermedades, ni tampoco todos ellos sirven para fabricar comidas o bebidas. Existen algunos que justamente nos han ayudado a evitar que el primer grupo, el de los asesinos, no nos haya hecho desaparecer de la faz de la Tierra. Si bien esta última frase parecería un poco exagerada ya que la humanidad siguió su camino a pesar de no conocer a esos microorganismos beneficiosos, fue a partir de su descubrimiento que la medicina -y en consecuencia la calidad de vida de la humanidad- progresó a pasos agigantados. ¿Y a quiénes nos referimos? A los productores de *antibióticos*.

La palabra antibiótico proviene del griego y quiere decir “en contra de la vida”. ¿Y por qué se les puso ese nombre? Porque los antibióticos son

sustancias que matan a seres vivos. Específicamente, son compuestos químicos producidos por organismos vivos o de origen sintético que en bajas concentraciones matan –*bactericidas*- o impiden el crecimiento –*bacteriostáticos*- de ciertas clases de microorganismos sensibles, siendo generalmente inofensivos para el organismo que ha sido infectado, ya sea este una planta, un animal o un ser humano. Decimos "generalmente" porque a veces se producen reacciones adversas, como es el caso de las alergias a los antibióticos.

El primero en llamar a estas sustancias por su nuevo nombre fue el científico norteamericano Selman Waksman (1888-1973) en 1942, cuando describió las "influencias antibióticas" de ciertas sustancias que impedían el crecimiento de microorganismos y que eran derivadas de otros organismos vivos.

Existen otros agentes *antimicrobianos* que no son catalogados como antibióticos, como es el caso del jugo gástrico producido en nuestro estómago, algunas sustancias sintéticas como las sulfamidas, y ciertos productos naturales, entre los cuales hemos mencionado anteriormente a la flor del lúpulo, que sirve para evitar la contaminación del mosto que se utiliza en la producción de la cerveza. Incluso muy altas concentraciones de azúcares, que impiden el crecimiento de un gran número de microorganismos, fueron utilizadas en la antigüedad, por ejemplo mediante la aplicación de miel o azúcar en las heridas

Dulces heridas

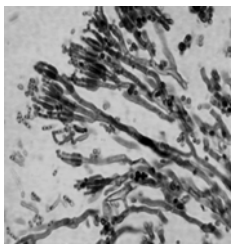
¿Cómo actúan la miel y el azúcar contra las bacterias? En el caso de la miel, se cree que su alto contenido de *peróxido de hidrógeno* -el agua oxigenada que todos conocemos- y su alta acidez son los que matan a la mayoría de los microorganismos contaminantes. El azúcar por otro lado, absorbe los líquidos de la herida, creando un ambiente desfavorable para las bacterias pero atractivo para los *macrófagos*, que son un tipo de glóbulos blancos de la sangre que se encargan de "limpiar" las heridas, alimentándose de todo lo que no debería estar allí y que pudiera representar algún peligro de infección.

Algunos profesionales de la salud consideran que este tipo de tratamientos, sobre si se utiliza azúcar, pueden complicar aún más las infecciones. De cualquier manera, este método es muy utilizado en la medicina veterinaria sin ningún tipo de complicaciones. Por las dudas, no lo intente en su casa, o ante cualquier duda consulte a su médico.

de batalla para evitar una infección. Otro agente antimicrobiano histórico fue el *Salvarsán* o "bala mágica", del bacteriólogo polaco-alemán Paul Ehrlich (1854-1915).

A fines del siglo XIX la sífilis, una enfermedad de transmisión sexual producida por la bacteria *Treponema pallidum*, producía estragos en Europa, en donde se cree que la padecía cerca del diez por ciento de la población. Ehrlich comenzó a probar diferentes compuestos que fueran capaces de destruir a la bacteria sin producir daños al huésped -que en sus ensayos eran conejos infectados con *Treponema*-. En su intento sexcentésimo sexto logró que los conejos se recuperaran de la infección, y como el nombre de la sustancia utilizada era casi impronunciable (*dioxiaminodoarsenobenzol*), fue bautizado de diferentes maneras: compuesto 606 -por el número de intentos-, *Salvarsán*, que fue el nombre comercial derivado de "salvar con arsénico" –ya que este compuesto era un derivado de ese elemento químico-, y "bala mágica", debido a que mataba específicamente a la bacteria sin dañar a la persona infectada, si bien esto último era discutible, ya que el arsénico no es tan beneficioso para la salud que digamos. De cualquier manera, este método quimioterapéutico fue un éxito total y la única cura para la sífilis hasta el descubrimiento del primer antibiótico, la *penicilina*, casi tres décadas más tarde. Pero eso lo veremos con más detalle en un par de páginas.

Con respecto a la producción de antibióticos no hay mucho que decir, o por lo menos no es tan compleja de explicar como la fabricación de la cerveza o del vino. Los microorganismos productores de antibióticos, la mayoría de ellos hongos del tipo moho -como el *Penicillium* que mencionamos en la sección de los quesos- se hacen crecer en grandes tanques fermentadores con oxígeno y un medio de cultivo rico en nutrientes -como macerado de maíz-, a una temperatura de veinticinco a veintiocho grados centígrados. En esas condiciones



Hongo del tipo *Penicillium*

los hongos crecen felices y contentos produciendo varias sustancias, entre ellas los antibióticos, que por lo general son expulsados al medio externo. Luego, se elimina el hongo por filtración y se extrae el antibiótico mediante una serie de procesos, que incluye el uso de solventes especiales, su posterior evaporación, filtración en carbón activado, y otros métodos de separación química más complejos. Obviamente todo esto depende del organismo productor y del tipo de antibiótico, ya que no existe un procedimiento general para todos ellos. Por otro lado, tenemos también los antibióticos sintéticos, que por lo general provienen de modificaciones químicas de los producidos por los microorganismos. El hecho que muchas bacterias generen resistencia a algunos antibióticos -es decir que mutan de forma de no verse afectadas por dichas sustancias-, ha establecido la necesidad de crear nuevos antibióticos a un ritmo frenético, y una gran mayoría de los productos más nuevos del mercado son de origen sintético.

Entre los antibióticos más conocidos y antiguos tenemos las *penicilinas*, que fueron descubiertas en 1929, y cuyo origen son el *Penicillium notatum* y el *Penicillium chrysogenum*; la e*streptomicina* (*Streptomyces grieseus*, 1944); el *cloramfenicol* (*Streptomyces venezuelae*, 1948) y las *tetraciclinas* (*Streptomyces alboniger*, 1953).

¿Y cómo actúan los antibióticos? De varias maneras. Algunos interfieren con la pared celular de algunas bacterias -la cual sería una especie de cubierta protectora por sobre la membrana que las rodea-, haciendo que esta pared se destruya y haga estallar al microorganismo; otros le impiden a las bacterias aumentar su número al bloquear su división celular -las bacterias se reproducen de una manera similar a las levaduras-. Un gran número de antibióticos perturban directamente la membrana bacteriana produciendo un efecto similar a los que afectan a la pared. También existen otros grupos de antibióticos que afectan directamente la maquinaria interna de los microorganismos a los que atacan, lo cual hace que mueran porque no pueden aprovechar los nutrientes del medio que los rodea –literalmente "se mueren de hambre"-, o hacen que directamente se detengan como un reloj que se queda sin cuerda, lo que implica que no puedan reproducirse más, dejando así de afectar al huésped. Este último grupo sería al que se lo definió antes como *bacteriostáticos* -la bacteria permanece "sin cambios"-, y el resto serían los *bactericidas* -que matan o destruyen a las bacterias-.

Como para no perder la costumbre, hagamos un poco de historia. Si bien el primer antibiótico "oficial" fue la Penicilina en el año 1929, se cree que los chinos ya los utilizaban hace unos dos mil quinientos años. Obviamente no usaban todavía el antibiótico puro, sino que cuando cuajaban la soja -para fabricar queso de soja o *tofu*- se formaba un moho en su superficie, y se dieron cuenta, probablemente por accidente, que al aplicarlo a cierto tipo de infecciones lograban sanarlas. Algo similar ocurrió con otras culturas antiguas, como al sur de Egipto, en la región de Sudán, y un poco más cercano durante el medioevo, cuando se trataban infecciones con cuajo de queso contaminado con moho.

En 1877, el científico francés Louis Pasteur (1822-1895), del cual hablaremos más de una vez en este libro, definió el principio de *antibiosis*, que es algo así como la acción de un microorganismo sobre otro. En su caso había observado que si inyectaba en animales una bacteria que se alimentaba de sustancias en descomposición, estos animales no podían ser infectados por la bacteria causante del ántrax, el Bacillus anthrasis. Más tarde se supo que una sustancia producida por la primera bacteria, la carroñera, inhibía el crecimiento de la segunda.

Finalmente ocurrió uno de los accidentes más famosos de la historia científica. Corría el año 1929, y mientras el médico británico Alexander Fleming (1881-1955) cultivaba bacterias de la especie *Staphylococcus aureus*, uno de sus cultivos se contaminó con hongos. Fleming observó que el medio de cultivo alrededor del hongo estaba libre de bacterias, llegando a la conclusión que el hongo estaba expulsando una sustancia al medio que inhibía el crecimiento del *Staphylococcus*. Como identificó al hongo con el nombre *Penicillium notatum*, llamó al producto que secretaba *penicilina*.

Pionero ignorado

En 1897, otro científico francés, Ernest Duchesne (1874-1912), descubrió las propiedades antibióticas -si bien ese término se aplicaría cuarenta y cinco años después- de los hongos del tipo *Penicillium*, pero lamentablemente su trabajo no obtuvo la relevancia que merecía, llevando a más de treinta años de atraso en el tratamiento de las infecciones.

Recién unos diez años después se pudo purificar la penicilina y aplicar en los primeros seres humanos. Quienes fueron capaces de hacerlo, el alemán Ernst Chain (1906-1979) y el australiano Howard Walter Florey

(1898-1968), recibieron junto con Fleming el Premio Nobel de Medicina en 1945.

Al mismo tiempo que se aislaba en 1939 el antibiótico *gramicidina*, que no procede de un hongo sino de la bacteria *Bacillus brevis*, comenzó la Segunda Guerra Mundial, que de alguna manera aceleró la investigación para la producción y purificación de los antibióticos, que se hicieron de uso generalizado en 1943. En este caso bien podríamos aplicar la frase "no hay mal que por bien no venga".

CAPÍTULO 2

La era del microscopio: ¡ahora no se nos van a escapar!

En el capítulo anterior nos centramos más que nada en los organismos que están conformados por una sola célula, y justamente fueron ellos los primeros en ser observados por el hombre. Fue también gracias a ellos, y sobre todo a los métodos y equipamientos que se desarrollaron para verlos, que nos dimos cuenta de que nuestros propios cuerpos eran un conjunto de células mucho más complejas de lo que nos imaginábamos.

Esta sección del libro va a ser un repaso de la historia de aquellos hombres que con sus creaciones y descubrimientos abrieron un campo ilimitado de conocimientos con relación al sorprendente mundo de las células.

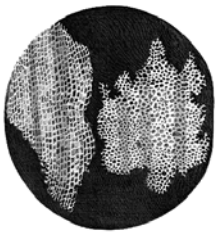
El ojo que todo lo ve: la palabra célula aparece en nuestro vocabulario

Como dijimos al principio, las células son microscópicas, por lo tanto es imposible verlas a simple vista. Para observarlas hizo falta la invención de un aparato para magnificar varias veces la imagen de estas estructuras minúsculas. Ese aparato, como ya se imaginarán, es el microscopio, el "instrumento para observar cosas pequeñas".

Pero una cosa es inventar el aparato y otra darle uso. Sabemos que la utilización de lentes de vidrio para aumentar la imagen de los objetos deriva de la época del Imperio Romano, allá por el año cien después de Cristo. Es más, la palabra lente deriva del latín (el idioma del Imperio) *lentil*, que quiere decir "lenteja", por la semajanza entre la forma de las lentes y la de la semilla que forma parte de nuestros guisos invernales.

No fue hasta finales del siglo XVI, cerca del año 1590, que un par de fabricantes holandeses de anteojos, Hans Janssen y su hijo Zaccharias (1585-1632), decidieron colocar dos lentes en los extremos de un tubo, y observaron que este nuevo aparato podía magnificar objetos mucho más de diez veces, que era el límite de las mejores lentes individuales de esa época. A esta invención se la considera el primer microscopio compuesto, es decir que posee dos lentes o más.

Cuarenta años después, en 1665, el naturalista inglés Robert Hooke (1635-1703) se encontraba observando en un microscopio la estructura de una lámina de corcho - la corteza del árbol llamado alcornoque-, y notó que estaba formada por unas cavidades que le recordaban las celdas de un panal de abejas o las cámaras en donde se recluyen los monjes, también llamadas celdas (esto depende de quién cuente la historia, como siempre). Entonces acuñó la palabra "celda", que en inglés es *cell*, para describir a esos compartimientos. Como dijimos al principio del primer capítulo, el idioma español adoptó una palabra del latín similar a la del inglés, *cella*, que en realidad quiere decir "hueco" (aunque ya vamos a ver que las células de huecas no tienen nada), para finalmente utilizar su diminutivo *cellula*, que con un pequeño cambio ortográfico quedó como el nombre con el que conocemos actualmente a estas unidades fundamentales de la vida.



Dibujo de las primeras células observadas por Robert Hook

A todo esto, lo único para lo cual habían servido los microscopios era para ver células muertas, tal como las estructuras observadas por Hooke en el corcho. Entonces apareció en escena el comerciante y científico holandés Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), que dedicó gran parte de su vida a la fabricación de sus propias lentes y al perfeccionamiento del microscopio, aunque en su caso se trataba de instrumentos no compuestos, ya que poseían una sola lente. Pero con eso le fue más que suficiente para ser el primer hombre en observar microorganismos vivos.

Si bien van Leeuwenhoek poseía muy poca preparación científica, era un experto en el tallado de lentes, algunas de las cuales no llegaban a medir un milímetro de diámetro. De allí que algunos de sus microscopios -se dice que fabricó más de quinientos-, fueran muy pequeños, llegando algunos a medir no más de ocho centímetros de largo. Con algunos de estos instrumentos llegó a la friolera cifra de unos doscientos setenta y cinco aumentos, lo que le permitió observar por primera vez bacterias del agua y

del sarro de sus propios dientes, protozoos (a los cuales van Leeuwenhoek llamó animáculos), glóbulos rojos de la sangre y espermatozoides del semen humano.

Pero el afamado microscopista holandés no solo trabajó con organismos unicelulares, sino que también descubrió que tanto las pulgas como los mejillones se desarrollaban a partir de huevos microscópicos, describió el ciclo de vida de varios insectos al poder observar sus huevos y larvas, y estudió tejidos de plantas y de animales.

No solo miraba al cielo

El famoso científico italiano Galileo Galilei (1564-1642), allá por el año 1609, comenzó a realizar sus experimentos con lentes y tubos, tal como lo hicieron los Janssen. Gracias a ello desarrolló no solo los primeros telescopios -con los que logró ver entre otras cosas los anillos de Saturno y los satélites de Júpiter-, sino que también perfeccionó el microscopio compuesto, al que llamó *occhiolino*, algo así como "guiñar el ojo" en italiano, ya que era la única forma de ver a través del dispositivo. Recién en el año 1625, el científico alemán Giovanni Faber de Bamberg (1574 - 1629), colega y amigo de Galileo, le otorga a este instrumento el nombre por el cual todos lo conocemos hoy: microscopio.

Desgraciadamente, van Leeuwenhoek era muy celoso de su técnica de pulido del vidrio para hacer lentes, y se llevó ese secreto a la tumba a los noventa y un años de edad, lo cual hizo que la observación microscópica se retrasara por casi cien años.

Nace la "Teoría Celular"

¿Para qué sirve enunciar una teoría? Básicamente para ordenar un poco las cosas. A partir de las observaciones de van Leeuwenhoek y otros que lo siguieron, nació todo un mundo nuevo para la humanidad que estaba compuesto por células. Por lo tanto, y antes que ese mundo creciera demasiado, era necesario formular una serie de leyes o enunciados que definieran qué eran, para qué servían y de dónde provenían las células.

Uno de los primeros en definir la función de las células fue el naturalista alemán Lorenz Oken (1779-1851), quien en 1805 dijo "todos los organismos vivos se originan y consisten de células", algo muy osado para la

época, ya que todavía se creía que muchos organismos se originaban por "generación espontánea", algo que veremos un poco más adelante.

En 1833, el naturalista escocés Robert Brown (1773-1858), encontró que en células de orquídeas aparecía una "mancha opaca", a la cual llamó núcleo. Posteriormente descubrió que este núcleo se presentaba también en otro tipo de células de diferentes plantas. Un profesor de botánica, el alemán Matthias Schleiden (1804-1881), encontró fascinantes las observaciones de Brown, y comenzó a explorar más detalladamente a este nuevo componente celular. Schleiden pensaba que el núcleo era la estructura celular más importante, ya que, según él, a partir de éste se originaba el resto de la célula, algo que como veremos más adelante no está tan alejado de la realidad.

Otro alemán amigo de Schleiden, el zoólogo Theodore Schwann, de quien ya hablamos en la sección panadera, notó que existía una gran similitud estructural entre el material extraído de cordones umbilicales humanos y algunas de las células vegetales que su amigo observaba, lo cual le hizo pensar que los tejidos animales también estaban formados por células, algo que confirmó cuando encontró en los tejidos que él mismo estudiaba las famosas "manchas opacas" -los núcleos- de las que hablaba Schleiden. Schwann observó también que esos núcleos se encontraban en intervalos regulares, lo cual le sugirió que estaban confinados en compartimientos definidos separados por una pared o membrana, tal cual se podía observar en las células vegetales, si bien le era imposible detectar esas divisiones en células animales debido a las limitaciones de la microscopía de la época.

Estas observaciones, que unificaban a células animales y vegetales, hicieron que Schwann en 1839 propusiera la Teoría Celular, que establece lo siguiente:

1- Todos los organismos están formados por una o más células.
2- Las células son las unidades estructurales y funcionales fundamentales de la vida.
3- Todas las células provienen de células preexistentes.

Este último punto aparentemente fue aportado por el enunciado de otro alemán, el médico Rudolf Virchow (1821-1902), quien en su juventud había declarado la frase *Omnis cellula e cellula*, que quiere decir exactamente lo que manifiesta la última parte de la Teoría Celular de Schwann. Otro alemán, aunque en la actualidad sería polaco, el neuroanatomista Robert Remak (1815-1865), fue uno de los primeros en notar en 1852 que las células se dividían para formar más células y así establecer los tejidos, lo cual reforzaba mucho más la Teoría Celular y comenzaba a desplazar poco a poco el concepto de que los organismos aparecían como por arte de magia ("generación espontánea").

Una teoría renovada

A partir de los avances en biología celular desde mediados del siglo XIX, la Teoría Celular se fue perfeccionando, por lo que actualmente podemos hablar de una "Teoría Celular Moderna", cuyos enunciados básicos establecen:

1- Todos los organismos están formados por una (unicelulares) o más células (multi o pluricelulares).
2- Las células son las unidades estructurales y funcionales fundamentales de la vida.
3- Todas las células provienen de células preexistentes por división.
4- Las células contienen la información hereditaria que se pasa de una célula a la otra durante la división celular.
5- Todas las células poseen básicamente la misma composición química.
6- Todo el flujo de energía (metabolismo) de la vida ocurre dentro de las células.

La "fuerza" interior: cromosomas y organelas

Ya vimos en la parte anterior cómo Robert Brown descubría una "mancha opaca" en las células, a la que llamó núcleo. Gracias a dichas observaciones, Theodore Schwann dedujo que cada célula tenía un núcleo y que debían estar separadas unas de otras de alguna manera. Esto fue confirmado por el anatomista y fisiólogo suizo Rudolph Albert von Kölliker (1817-1905), quien demostró que la pared del músculo liso -el responsable de los movimientos del estómago, el intestino y el útero, entre otros órganos- está formada por unidades de células musculares nucleadas.

Antes comentábamos que para Matthias Schleiden el núcleo cumplía un papel protagónico en la célula, argumentando que a partir del mismo se originaba todo lo que lo rodeaba. Por ese entonces, un biólogo alemán, Walther Flemming (1843-1905), se encontraba estudiando diferentes tipos de colorantes para teñir a las células y a sus componentes internos, que hasta ese momento eran desconocidos, a excepción del núcleo. Flemming encontró que algunas tinturas de anilina eran capaces de teñir estructuras en forma de hilo dentro del núcleo celular, a las que llamó *cromatina*, que vendría a ser algo así como "coloreado" (del griego *khroma*="color"). Unos años después, el anatomista alemán Wilhem von Waldeyer-Hartz (1836-1921) llamó a esas estructuras *cromosomas*, o "cuerpos coloreados".

Flemming se dedicó a estudiar el destino de estos "cuerpos" durante la división celular, proceso al cual bautizó con el nombre de *mitosis*, que quiere decir algo así como "hilo deformado", probablemente por el aspecto que presentaban los cromosomas al microscopio durante la separación de las células. El biólogo alemán observó que durante la mitosis los cromosomas se distribuían entre las células hijas, aunque todavía no tenía forma de saber que esos "cuerpos" eran los portadores del material genético celular ni que se dividían en mitades idénticas entre las células resultantes de este proceso de división,. Fue a partir de estos resultados que Flemming creó la expresión *omnis nucleus e nucleo*, parafraseando a Rudolf Virchow (el autor de la frase *omnis cellula e cellula*), ya que fue el primero en afirmar que cada núcleo celular tenía como predecesor a otro núcleo.

Célula dibujada por Walther Flemming, mostrando los cromosomas dentro del núcleo

Desgraciadamente, ninguno de todos estos investigadores que por aquellas épocas se dedicaban a estudiar a las células conocía los trabajos del monje y científico austríaco Gregor Mendel (1822-1884). Mendel estudió denodadamente la herencia de los caracteres externos de la planta de arveja, y sus conclusiones acerca de la transmisión de esos caracteres a las futuras

generaciones derivaron en lo que se conocen como las "Leyes de Mendel". ¿Y para qué les hubiera servido conocer estas leyes? Básicamente les hubiera permitido conectar a la división de los cromosomas, en donde está el material hereditario, con la transmisión o herencia genética de los caracteres a las células hijas. Lamentablemente, no fue hasta después de la muerte de Mendel que sus descubrimientos tomaron la importancia debida y llevaron a la creación de una nueva rama de la biología, la genética. Pero esa es otra historia que detallaremos dentro de algunas páginas.

Pronto los científicos descubrirían que no todo era núcleo en la célula. El avance de la microscopía y de los métodos de tinción permitió encontrar estructuras aun más minúsculas que el núcleo, aunque todavía se ignoraban sus funciones. Se dice que el primero en llamar a estas estructuras *organelas* fue el zoólogo alemán Karl August Möbius (1825-1908). Möbius aplicó el nombre *orgánula* a las estructuras asociadas a la reproducción de los protozoos unicelulares -los animáculos de van Leeuwenhoek-. Él consideraba que éstos eran "órganos pequeños" u *organelas*, ya que eran partes diferentes dentro de una misma célula, a diferencia de lo que ocurre con los órganos -como por ejemplo el hígado, el estómago, el cerebro, el corazón, etc.- de los individuos multicelulares, los cuales están formados por un gran número de células especializadas que poseen estructuras y funciones diferentes pero que trabajan en forma coordinada.

Veintitrés pares

El número de cromosomas varía muchísimo entre los diferentes organismos que habitan este planeta. Actualmente sabemos -y no desde hace mucho tiempo- que los seres humanos tienen cuarenta y seis cromosomas, distribuidos en veintidós pares más un par de cromosomas llamados *sexuales*, denominados de esa manera debido a que el sexo del portador se determina en base a qué par de esos cromosomas poseen las células de su cuerpo. Si porta un par idéntico (XX) el sexo es femenino, en cambio si el par es desigual (XY) pertenece a un individuo masculino. Cerca del final de este libro veremos cómo es que cada uno de nosotros obtiene alguno de esos pares, es decir cómo se determina el sexo.

Recién a principios del siglo XX la palabra organela se asoció a componentes internos de las células de organismos multicelulares, si bien una de ellas ya había sido descrita con detalle: el núcleo. Esto ocurrió cuando el

naturalista sueco Bengt Lidforss (1868-1913) escribió un trabajo titulado "Órganos y organelas", publicado en 1915, después de su fallecimiento.

Las limitaciones de la microscopía óptica de entonces permitieron descubrir solamente un par de organelas nuevas, aparte del núcleo, y no fue hasta la invención del microscopio electrónico en la década del treinta del siglo XX que aparecieron los nuevos componentes celulares que hoy conocemos. Una de las primeras organelas descritas luego del núcleo fueron las *mitocondrias* (del griego mitos="hilo" y khondrion="gránulo"), que justamente al microscopio parecen gránulos con forma de hilos. Muchos investigadores desde mediados del siglo XIX las habían observado, pero fue justamente el primero de ellos, el médico alemán Friedrich Henle (1809-1885), quien reconoció que estas organelas se encontraban en todas las células y que por lo tanto debían jugar un papel esencial, el cual hoy sabemos es el de suministrar energía a la célula que las cobija, algo que veremos en el tercer capítulo de este libro con mayor detalle.

La otra organela descubierta en la era del microscopio óptico se la debemos a un destacado científico italiano: Camilo Golgi (1843-1926). Golgi desarrolló un método de tinción con nitrato de plata que le permitió observar con gran detalle el trayecto de las células nerviosas en el cerebro humano. Esta misma técnica le sirvió para identificar una estructura reticular dentro de las células, a la cual posteriormente se le dio su nombre, llamándola *aparato de Golgi*. Recién a mediados del siglo XX esta organela pudo ser observada con más detalle gracias a la microscopía electrónica, y no fue hasta fines de la década del '60 que pudo comprenderse su función a través de la utilización de rastreadores radioactivos. ¿Y para qué sirve el aparato de Golgi? Sean pacientes y esperen hasta el capítulo tres.

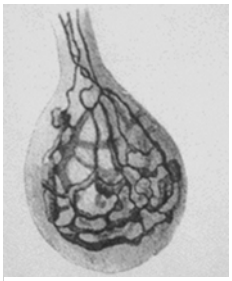


Ilustración de Camilo Golgi mostrando el aparato de Golgi en una célula del cerebelo

Como dijimos anteriormente, el microscopio electrónico permitió observar con mayor detalle a estas minúsculas organelas. Este avance tecnológico permitió obtener imágenes de alta resolución de las mitocondrias y a la vez observar la compleja estructura de sacos aplanados y encimados que posee el aparato de Golgi. Otra estructura membranosa de características similares a esta última organela comenzó a hacerse notar, aunque a diferencia del Aparato de Golgi, que posee una estructura compacta, se distribuía por toda la célula y poseía un aspecto de tejido de encaje, al cual se lo llamó *retículo endoplásmico*, que se podría traducir como "formación interna reticular".

Las organelas más pequeñas de todas, los *endosomas* ("cuerpos internos") y los *lisosomas* (algo así como "cuerpos destructores"), pudieron descubrirse gracias a una combinación de microscopía electrónica, tinción y reacciones bioquímicas. Estas últimas permitieron distinguirlas a unas de otras, ya que ambas tienen un aspecto muy similar pero su contenido interno es muy variado y reacciona de diferentes maneras cuando se lo somete a ensayos de laboratorio.

Se acabó la magia: adiós a la generación espontánea

A pesar de todos los avances científicos del siglo XIX, todavía existían científicos en esa época que creían que la vida podía originarse a partir de materia inerte. Desde la época del filósofo griego Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) en que se afirmaba que los seres vivos podían emerger de materia en descomposición, tal como ocurría con los gusanos en la carne podrida, los insectos en las hojas muertas del suelo, ratones en las pilas de heno sucio, e inclusive ¡cocodrilos a partir de troncos en putrefacción!

A esta doctrina se la llamó de la "generación espontánea", también conocida como *abiogénesis* (sin origen biológico). Hasta el siglo XVI, oponerse a esta teoría era ir en contra de la razón y el buen sentido, ya que no existía otro motivo por el cual esos seres aparecieran sin haber tenido la materia en descomposición contacto con otro ser vivo, lo cual más que nada se debía a la falta de paciencia o de poder de observación de algunos científicos de la época. Además, el descubrimiento de los microorganismos por parte de van Leeuwenhoek pareció reforzar aún más esta teoría, ya que

ahora se sabía quiénes eran los responsables de la generación espontánea, sobre todo debido a que en esas épocas todavía no se consideraba que estos seres minúsculos fueran capaces de ningún tipo de reproducción o inclusive de poder dividirse para multiplicarse. ¡Y no le podemos criticar a van Leeuwenhoek su poder de observación!

Esta vez tuvieron que aparecer los italianos para abrirle los ojos al mundo. El primero de ellos fue Francesco Redi (1626-1697), quien realizó un simple experimento. Colocó una serie de frascos con distintos contenidos, como por ejemplo carne de ternera o de pescado. De cada frasco tenía un duplicado, el primero quedaba abierto y al segundo le colocaba en la boca una fina gasa, de manera que solo pudiera pasar aire. Dejó los frascos a la intemperie y luego de varios días notó que en los frascos abiertos la carne estaba cubierta de gusanos, mientras que en aquellos protegidos por la gasa no había aparecido absolutamente nada. Después dejó que los gusanos se siguieran desarrollando hasta que ¡se metamorfosearon en moscas! Redi sacó la deducción que las moscas del ambiente (sí, las mismas que varios "no vieron" siglos antes) habían posado sus huevos en la carne con la intención que su descendencia se alimentara de ella al nacer, algo que no pudieron realizar en aquellos frascos en los que no lograron entrar debido a la gasa. Un experimento sencillo pero efectivo que tiró por la borda una teoría con siglos de antigüedad, probando que las moscas no vienen de la carne podrida, sino de otras moscas.

El otro italiano en cuestión fue Lázaro Spallanzani (1729-1799). En la época en que Spallanzani se dedicaba a las ciencias naturales durante su tiempo libre, circulaban las observaciones de un naturalista escocés, John Needham (1713-1781), que afirmaba que existía una "fuerza vital" en el aire y en las materias inorgánicas que era la causante de la generación espontánea. Needham se dedicaba a preparar sopas, hervirlas por un breve momento y almacenarlas en frascos limpios tapados con corchos. Después de varios días la "fuerza vital" se encargaba de hacer aparecer en sus sopas un hermoso cultivo bacteriano, lo cual indicaba que a pesar del calentamiento y del sellado los microorganismos crecían igual.

Spallanzani pensó que el experimento estaba pésimamente realizado, así que comenzó a preparar sus propias sopas. A diferencia de Needham, las dejó hervir por una hora, y en lugar de almacenarlas en frascos tapados con corchos, directamente fundió la boca de los mismos para sellarlos

herméticamente. Para sorpresa de Needham, nada creció en esos frascos luego de varias semanas, tirando ¿definitivamente? por tierra a la teoría de la generación espontánea. El error de Needham consistió en hervir la sopa por períodos cortos -hay bacterias que pueden resistir el calor por algún tiempo- y sellar los frascos con corchos, que no son totalmente impermeables a los microorganismos del aire. De cualquier manera los incrédulos pululaban por doquier, y hubo que esperar casi cien años más para desterrar completamente a la generación espontánea.

Ya hablamos de Louis Pasteur en la sección de los antibióticos. Pues bien, aquí va a aparecer de nuevo, y no va a ser la última vez que lo haga. Si bien el experimento que realizó Spallanzani en 1768 había sido muy claro, todavía existían controversias que debían ser aclaradas de una vez por todas antes que se cumplieran cien años de sus experimentos y todos se murieran de vergüenza por no poder aclarar la cuestión. Por lo tanto, en 1860 la Academia Parisina de Ciencias ofreció un premio a aquella persona que pudiera resolver el conflicto de la existencia o no de la generación espontánea. Y nuestro buen amigo Pasteur se llevó el premio a casa cuatro años después.

El razonamiento de Pasteur fue simple, y no muy alejado del de los italianos Redi y Spallanzani. Si esa "fuerza vital" de la que hablaba Needham existía y se encontraba en el aire, había que buscar la forma de dejarla entrar en contacto con las sustancias orgánicas, como la sopa, pero impidiendo el acceso a éstas últimas de las bacterias del ambiente. Para ello utilizó dos métodos. En el primero, hirvió varios frascos con caldo por largo tiempo, para proceder luego a taparlos con tapones de algodón, permitiendo así la entrada de aire pero impidiendo la entrada de bacterias. En otro experimento calentó el caldo en unos frascos muy particulares, que poseían una especie de "cuello de cisne". La particular forma del cuello de estos recipientes –como si fuera una letra "S" acostada- permitía el intercambio de aire entre el exterior y el contenido, pero no la entrada de microorganismos, ya que los mismos quedaban retenidos en la parte baja del cuello gracias a una ley descrita ya hacía muchos años: la ley de gravedad. Obviamente nada creció en esos frascos. Es más, se asegura que todavía se conservan algunos de esos recipientes y que se mantienen sin contaminación alguna ¡después de más de ciento cuarenta años!

Para probar finalmente que los caldos se contaminaban por las bacterias y no por la "fuerza vital" del aire, Pasteur rompió los cuellos de los frascos o permitió el contacto del líquido con la zona donde se habían acumulado los microorganismos. Luego de varios días, los caldos transparentes y de agradable aroma se transformaron en líquidos turbios y de mal olor debido a la contaminación, pudiéndose observar al microscopio a los millones de bacterias que los poblaban.

Golpe de knock-out

Cuando Pasteur recibió el premio de la Academia Parisina por derribar de una vez por todas a la teoría de la generación espontánea, pronunció la célebre frase "la vida es un germen y un germen es vida. Nunca la doctrina de la generación espontánea se recuperará del golpe mortal que le asestó este simple experimento".

El descubrimiento de los asesinos invisibles

En el primer capítulo de este libro describimos una serie de microorganismos que ayudaron al hombre en su camino hacia la civilización. Fue justamente Pasteur quién descubrió que estos seres diminutos aparecían también en las bebidas fermentadas. Esto lo llevó a crear un método de calentamiento -como por ejemplo altas temperaturas por muy cortos tiempos- que permitía matar a la mayoría de las bacterias y mohos que habitan en líquidos como la leche y el mosto de cerveza, impidiendo además la futura contaminación de los mismos. En honor al científico francés a este método se lo llamó pasteurización.

Pasteur dedujo que si las bebidas se podían contaminar con microorganismos, era muy lógico pensar que algunos de estos pudieran también infectar a humanos y animales. Sus primeros trabajos al respecto estuvieron relacionados con una infección que estaba diezmando a la población de gusanos de seda en una región del sur de Francia. Pasteur estaba convencido que existía un microorganismo (se trataba de un parásito) que atacaba los huevos de los gusanos, y que eliminándolo de los criaderos se erradicaría la enfermedad. La única forma de hacerlo para la época era separando los gusanos sanos y no dejándolos entrar en contacto con los

enfermos, los cuales debían ser destruidos. Esto finalmente resultó ser una solución acertada para evitar el colapso de la industria francesa de la seda.

Otro de los descubrimientos de Pasteur relacionados con organismos patógenos (causantes de enfermedades) fue la *anaerobiosis*. ¿Y qué quiere decir esto? Si recurrimos nuevamente al griego nos vamos a dar cuenta que *an* es "ausencia", *aero* significa "aire" y *biosis* quiere decir "relacionado a la vida". Por lo tanto, una bacteria *anaerobia* es capaz de "vivir sin aire". Existen anaerobios obligados -se mueren ante la mínima presencia de oxígeno- y *facultativos*. Entre estos últimos tenemos a la mismísima levadura, que con altas concentraciones de oxígeno puede dividirse como loca, pero cuando el preciado gas baja utiliza su metabolismo para convertir glucosa en etanol y dióxido de carbono, o sea para fermentar.

A lavarse las manos (y los dientes)

El hallazgo de la anaerobiosis por parte de Pasteur, llevó al cirujano inglés Joseph Lister (1827-1912) a cambiar los hábitos de las salas de cirugía, eliminando microorganismos patógenos anaerobios con un antiséptico, el *fenol* o *ácido carbólico*, el cual fue utilizado para tratar el material quirúrgico, las salas de operaciones, las manos de los cirujanos y las heridas de los enfermos. Debido a las mejoras logradas en la curación de los enfermos, sobre todo para las heridas gangrenosas causadas por anaerobios, a Lister se lo llamó "el padre de la asepsia moderna". Es más, el nombre de un famoso enjuague bucal -que muchos usamos para matar microorganismos que habitan en nuestros dientes y encías- es un homenaje a este arrojado médico: *Listerine*.

Pasteur también tuvo su cuota de accidentes fortuitos, así como le ocurrió a Sir Alexander Fleming con la Penicilina. En realidad fue un descuido de su asistente, Charles Chamberland, que tenía a su cargo el cuidado de unos cultivos bacterianos del agente causante del cólera de pollo. Chamberland debía inocular con estas bacterias unos pollos en ausencia de Pasteur para inducir la enfermedad, pero aparentemente él también se fue de vacaciones y se olvidó de su tarea. A su vuelta, y probablemente para que Pasteur no lo despidiera, inyectó a los animales con el cultivo, que ya tenía un mes de antigüedad y se había echado a perder. Los pollos no se sintieron bien por un tiempo pero luego mejoraron y, para sorpresa de los científicos,

posteriores inoculaciones con bacterias frescas no eran capaces de enfermarlos. Pasteur dedujo que la bacteria debilitada del cultivo viejo había inmunizado a los pollos impidiendo que pudieran ser infectados nuevamente. Lo que no quedó claro es si Chamberland conservó su trabajo porque confesó su olvido y fue disculpado, o porque le dijo a Pasteur que ya sospechaba que el resultado obtenido era posible y que había descuidado los cultivos "a propósito".

Pasteur aplicó un método similar para inmunizar al ganado contra la bacteria causante del ántrax, solo que en esa ocasión "debilitó" al microorganismo, que es un anaerobio facultativo, exponiéndolo al oxígeno. De esa manera pudo inducir una respuesta eficiente del sistema inmune mediante el uso de una bacteria incapaz de enfermar al ganado.

Este concepto del "germen débil" que causa inmunidad no fue realmente una invención de Pasteur, ya que el científico inglés Edward Jenner (1749-1823) había utilizado setenta años atrás un método similar. Jenner había observado que las mujeres que ordeñaban vacas en la campiña inglesa nunca se enfermaban de viruela, una enfermedad transmitida por un virus que estaba haciendo estragos por esos años. Además, notó que tenían unas ampollas purulentas en sus manos similares a las de la viruela, y dedujo que se debían al contagio de un tipo de viruela vacuna, inofensiva para las campesinas pero que a su vez les daba inmunidad contra la viruela humana que azotaba la región.

A pesar del riesgo que ello implicaba, Jenner se atrevió a inocular a un niño de ocho años con el pus de estas ampollas, exponiéndolo más tarde al virus causante de la viruela humana, tras lo cual el niño jamás adquirió la enfermedad. Los temores que producía en esa época ser inoculados con pus de ampollas originadas a partir de una enfermedad animal llevaron a tildar a Jenner con todos los epítetos que se puedan imaginar. Incluso la

Aflojando al gérmen

La única diferencia del método de Jenner con las inmunizaciones de Pasteur para el cólera de pollo y el ántrax bovino, es que en estos últimos el "germen débil" fue generado artificialmente, en el primer caso por un cultivo echado a perder, y en el segundo por la oxigenación de la bacteria. A estos microorganismos debilitados Pasteur los llamó *vacunas*, en honor al descubrimiento de Jenner. O mejor dicho, en honor de quien donó el material inmunizante, es decir la vaca.

imaginería popular llegó a los extremos de creer que a los inoculados les iban a crecer vacas en diferentes partes de su cuerpo, como fuera ilustrado en una caricatura muy famosa de 1802 en donde se burlaban abiertamente de Jenner y su método.

Antes de seguir con esta historia, plagada de científicos "hombres", hay que hacerle justicia a una de las pocas mujeres que allá por el siglo XVII, y mucho antes que Jenner y Pasteur aparecieran en escena, se atrevió a aplicar un método científico para inmunizar contra la viruela, y con bastante éxito. Claro que todo ese éxito se desvaneció por dos motivos que para esa época eran suficientes para borrar cualquier párrafo de la historia: el método provenía de oriente y quien lo aplicaba era una mujer.

Lady Mary Wortley Montagu (1689-1762) era una escritora de la aristocracia inglesa que vivió unos pocos años en la capital de Turquía, Constantinopla (actualmente Estambul), debido a que su marido, Edward Wortley Montagu, fuera nombrado embajador inglés en ese país de oriente. Lady Montagu observó que los turcos solían hacer inoculaciones con el contenido de las ampollas que se formaban en pacientes con variantes leves de la viruela, con el fin de proteger de la enfermedad a aquellos que todavía no la habían contraído. Este proceso se llamaba *variolación* (por *Variola*, el nombre en latín del virus de la viruela), y posteriormente pasó a llamarse *inoculación* (también del latín *inoculare*="injertar").

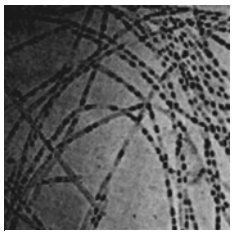
Al mismo tiempo que Lady Montagu volvía de Turquía, una epidemia de viruela se desató en Inglaterra, y la osada escritora se las ingenió para convencer al mismísimo rey de que inoculara a través de este procedimiento a dos de sus nietos, gracias a lo cual no sufrieron las consecuencias de la enfermedad. Luego de que el método finalmente se estableciera en la región, la cantidad de muertes de quienes no fueron tratados superaba en diez veces a la de aquellos que habían sido inoculados.

Uno de los principales aportes de Jenner con sus vacunas, que se aplicaron ochenta años después de que lo hiciera Lady Montagu, fue justamente la utilización del virus de la viruela bovina para la inoculación, lo que permitió que los pacientes pudieran adquirir la inmunidad contra el virus humano sin el peligro de contraer la enfermedad, bajando la mortalidad a niveles nunca antes alcanzados.

Pero volvamos a Pasteur, quien no se detuvo ahí. Él ya conocía los trabajos del médico francés Émile Roux (1853-1933), quien lo acompañó

también en sus experimentos con el ántrax bovino. Roux había creado una vacuna antirrábica que había sido empleada con éxito en perros. Un día de julio de 1885, Pasteur tomó una de las decisiones más difíciles de su vida. Un niño de nueve años había sido mordido por un perro rabioso y sus perspectivas de vida eran nulas. Pasteur, a pesar de no ser un médico habilitado -lo cual podía llevarlo a la cárcel-, consultó con algunos de sus colegas y decidió inocular al niño con la vacuna de Roux. El tratamiento fue tan exitoso que permitió el desarrollo de nuevas vacunas y la creación de una de las instituciones científicas más prestigiosas de nuestros tiempos, el Instituto Pasteur.

Otro destacado luchador contra los asesinos invisibles fue el médico alemán Robert Koch (1843-1910), que fue el primero en purificar de la sangre el bacilo responsable del ántrax bovino y hacerlo crecer en cultivos artificiales. De esta manera pudo observar que la bacteria no podía vivir fuera del huésped por mucho tiempo, pero sí era capaz de crear una forma resistente y "dormida" a la que llamó *endospora* (del griego, “semilla interna”). Como estas endosporas podían acumularse en el suelo y permanecer allí durante largos períodos de tiempo, podían causar epidemias de ántrax de manera "espontánea", palabra que como ya vimos Pasteur había erradicado del lenguaje científico.



Fotografía tomada por Robert Koch en donde se observa un cultivo de la bacteria responsable del ántrax bovino

Koch, además, perfeccionó los métodos de cultivos bacterianos, a tal punto que el fundamento de los mismos sigue siendo utilizado en el día de hoy en microbiología. Por ejemplo, el recipiente que se utiliza para crecer los microorganismos se denomina *caja de Petri* en honor al ayudante de Koch que la ideó, Julius Petri.

En los comienzos de la microbiología, en las cajas de Petri se colocaba gelatina como medio de cultivo, pero las altas temperaturas del verano no la dejaban solidificar correctamente, impidiendo que las bacterias

crecieran en su superficie. Otro de los asistentes de Koch, Walther Hesse, no podía encontrar una solución a este problema, hasta que un caluroso día de verano salió de picnic con su esposa Angelina. El científico notó que algunos de los postres que su mujer había preparado parecían estar hechos con gelatina, pero los mismos no se derretían con las altas temperaturas reinantes. Al preguntarle con qué los había preparado, su esposa le contestó que era un pequeño truco que un vecino holandés emigrado de la isla de Java, en Indonesia, le había enseñado hacía muchos años. Según le contó su vecino, en Java para dar consistencia a las comidas utilizaban el *agar-agar*, una sustancia gelatinosa que se extrae de algas marinas, y que se vuelve sólida a partir de los cuarenta grados centígrados. Hesse entonces preparó sus medios de cultivo con agar-agar, los cuales se mantuvieron consistentes aun en los veranos más extremos.

Técnicas pioneras

Tanto los medios con agar-agar como las cajas de Petri se siguen utilizando actualmente para realizar cultivos bacterianos, ya sea para estudios clínicos y de diagnóstico, así como para la investigación en microbiología y biología molecular. Estas técnicas le permitieron a Koch, entre otras cosas, descubrir el agente causante de la tuberculosis, el *Mycobacterium tuberculosis* o *bacilo de Koch*, enfermedad que causaba una muerte de cada siete personas a mediados del siglo XIX.

A partir de su trabajo en la tuberculosis, que le valió el Premio Nobel de Medicina en 1905, Koch creó los postulados que establecen cuándo se considera que un organismo es el causante de una enfermedad. Para ello el agente infeccioso debe:

- Ser encontrado en todos los casos observados de la enfermedad.
- Poderse aislar de individuos enfermos y mantenerse en un cultivo puro.
- Ser capaz de reproducir la infección original, aun después de varias generaciones en cultivo.
- Poderse recuperar de un individuo inoculado y cultivado nuevamente.

Bueno, hasta aquí llegó la historia. O eso parece. Porque ante cada descubrimiento que contemos, cada hallazgo que relatemos, o cada

descripción que detallemos no vamos a poder dejar de nombrar a aquellos que lo hicieron por primera vez, y eso señores es historia.

Por eso, a partir del próximo capítulo nos vamos a dedicar a las células propiamente dichas, sin dejar de lado a aquellos que hicieron grandes aportes y que todavía no hemos mencionado. O tal vez sí. Pónganle la firma que Pasteur aparece seguro.

CAPÍTULO 3

Las células por dentro: maravilla de la naturaleza

Viaje al centro de la célula

A partir de esta sección nos adentraremos finalmente en el sujeto que dio origen a este libro, es decir, la célula.

Para ello empezaremos una especie de viaje desde afuera de la célula hacia su interior. Vamos a conocer primero a la *membrana plasmática*, que es lo que la delimita del medio que la rodea, impidiendo por un lado que entre o salga cualquier cosa, pero a su vez seleccionando entre lo que la célula precisa que esté afuera y lo que necesita que ingrese en su interior.

Las células poseen las más variadas y diferentes formas imaginables. Y esas formas existen gracias a un andamiaje interno que sostiene al citoplasma celular. Esta estructura de sostén, a diferencia de lo que mantiene erguido a un edificio, es muy flexible y cambiante, lo cual le permite a muchas células una elasticidad increíble, y no solo eso, sino que muchos de los componentes de ese andamio, llamado de manera muy original *citoesqueleto*, sirven como veloces autopistas para transportar todo tipo de cosas de un lado al otro de la célula.

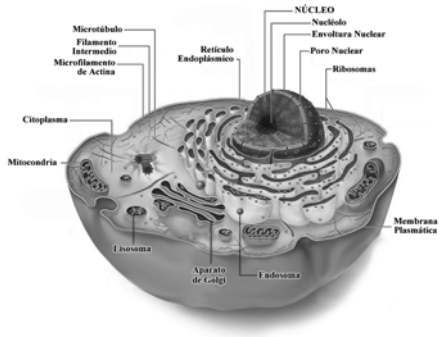
Una vez ubicados dentro de la célula, vamos a movernos por sus autopistas para ver que existe todo un mundo, delimitado por diferentes áreas con funciones muy específicas, y que tiene como protagonistas a esos componentes internos que en el capítulo anterior conocimos como *organelas*.

El actor principal entre estos componentes es justamente el primero que fuera descrito por el hombre como una parte esencial de la célula, el *núcleo*. Esta “computadora central” cobija a los anteriormente mencionados cromosomas, en donde se localizan los genes que almacenan la información necesaria para que la célula pueda llevar a cabo todas sus funciones, desde su alimentación y movimiento hasta su multiplicación y su muerte.

Siguiendo nuestro viaje, veremos que las células poseen sus propias centrales de generación de energía, sin la cual sería incapaz de vivir. Estos componentes, las *mitocondrias* y los *cloroplastos*, van a demostrarnos cómo

a partir de lo que comemos podemos obtener la energía necesaria para movernos, pensar, crecer y todas las actividades que se puedan imaginar.

Finalmente, llegaremos hasta una de las fábricas más maravillosas y eficientes que existen en la naturaleza. Gran parte de la estructura de las células y un sinnúmero de las funciones que estas llevan a cabo tienen como protagonistas a las proteínas. Y para fabricar a las proteínas existe una maquinaria que no solo las produce y las ensambla, sino que también les realiza un control de calidad exhaustivo. Todo esto es llevado a cabo en conjunto por un complejo sistema tubular, que se inicia en la sección "armado, ensamblado y control de calidad", el cual se encarga de la producción, plegamiento y verificación de las proteínas (lo que se conoce con el nombre científico de *retículo endoplásmico*), seguido por la sección "afinación", que tiene como función principal agregarle los detalles finales a esas mismas proteínas que pasaron el control de calidad previo (el *aparato* que descubriera Camilo Golgi y que lleva su nombre), finalizando con la



Esquema general de una célula animal, destacando los componentes que se describen en este capítulo

sección "reciclado y degradación", que tienen la tarea de reusar lo que todavía sirve o degradar lo que ya no le es útil a la célula (de la que forman parte los *endosomas* y los *lisosomas*, respectivamente). Por lo tanto, a abrocharse el cinturón y a agarrarse fuerte para comenzar un viaje extraordinario al interior de la célula.

Barrera selectiva: la *membrana plasmática*

Sin dudas en este capítulo nos vamos a sorprender de lo maravillosa que es la madre naturaleza. Porque cada parte de la célula está hecha a la perfección para cumplir su papel principal.

La membrana plasmática o celular es un ejemplo de ello. Es una estructura lo suficientemente resistente para aislar a la célula del ambiente que la rodea, pero a su vez posee la capacidad de seleccionar entre lo que entra y lo que sale, de manera que los componentes celulares se mantengan adentro y, por ejemplo, los nutrientes puedan ingresar sin problema alguno.

¿Y cómo se las arregla la membrana plasmática para eso? De una manera muy ingeniosa. Para armar esta "barrera" se utilizan unas moléculas muy particulares que tienen la característica de poseer un extremo que tiene afinidad por el agua y otro que la rechaza. La mitad "acuosa" de estos compuestos está formada principalmente por fósforo, y la otra mitad consiste en *lípidos* o grasas, de los cuales toman su nombre: *fosfolípidos*.

Generalmente, tanto el medio que rodea a la célula como el interior de ella son acuosos, y esto generaría un problema a la hora de mantener una membrana "grasosa" en uno de sus lados. Pero ya mencionamos que la naturaleza es ingeniosa, por lo tanto también se encargó de solucionar ese problema. Sucede que las membranas biológicas vienen generalmente -hay muy raras excepciones- en *bicapas*. ¿Y qué quiere decir eso? Que los fosfolípidos forman algo así como dos membranas una encima de la otra, en donde las mitades afines al agua de ambas quedan hacia afuera, mientras que las grasas quedan metidas hacia adentro. De esa manera se puede formar una barrera eficiente entre dos medios acuosos como son el citoplasma y el medio que rodea a la célula.

Si bien existen algunas cosas que pueden atravesar este tipo de membranas sin ninguna resistencia -sobre todo si son pequeñas-, existen otras que necesitan ayuda para entrar, ya sea debido a su tamaño o a que no pueden atravesar la membrana por ser insolubles en ella -adentro hay mucha "grasa"-. Además, no solo los fosfolípidos habitan la membrana, sino que existen otras cosas más, como las ya mencionadas proteínas, a las cuales encontraremos en todos lados y haciendo todo lo que se les ocurra, debido a la gran variabilidad en sus estructuras y funciones.

Para ayudar en el transporte entre todo lo que entra y sale de la célula, existen proteínas muy especializadas que forman "poros" en la membrana y que son llamados *canales*. Si bien son como tubos que conectan ambos lados de la membrana plasmática, la mayoría de ellos están cerrados y solo se abren cuando alguna señal se los indica, permitiendo así el pasaje de componentes específicos según las necesidades de la célula.

Puente entre dos mundos

Muchas proteínas tienen la capacidad de insertarse en la membrana plasmática debido a que poseen parte de su estructura soluble en grasas, mientras que aquellas partes que no lo son se asoman al exterior o al citoplasma. Eso las ayuda a contactarse tanto con componentes del medio externo como del interior celular, de manera que funcionan como una especie de "puentes" o "conectores", como es el caso de algunas proteínas muy particulares denominadas *receptores*, que poseen partes de su estructura tanto hacia fuera como hacia adentro de la célula.

Cuando una señal externa llega a la superficie celular, como ocurre con muchas hormonas por ejemplo, ésta no entra a la célula, pero toma contacto con su receptor específico -la señal es como una llave y el receptor como una cerradura-, y eso hace que se produzcan una serie de transformaciones que hacen que la parte citoplasmática del receptor interactúe con componentes celulares internos, desencadenando así una sucesión de señales que llevan a cambios notorios en el comportamiento de la célula, como por ejemplo que se mueva, que se divida, o inclusive que se muera.

Andamiaje y autopistas: el *citoesqueleto*

Ya comentamos al principio de este capítulo que existe un andamiaje, el citoesqueleto, que mantiene y le da forma a las células, pero que no solamente tiene esa función, sino que también las ayuda a moverse, participa en la división celular, y sirve además para establecer "autopistas" que comunican todas las partes de la célula, permitiendo que se transporten toda clase de cosas de un lado a otro de ella.

Pero empecemos con el andamiaje. El citoesqueleto está compuesto por diferentes tipos de proteínas, cada una de las cuales lleva a cabo una tarea distinta. Por un lado tenemos un sistema de largos tubos cilíndricos, los cuales se arman y se desarman constantemente desde sus extremos, lo que les permite cambiar de dirección o de longitud según las necesidades de la célula, contribuyendo al mantenimiento de su forma y a su movilidad. A estas estructuras se las conoce como *microtúbulos* ("tubos pequeños").

El segundo grupo de componentes estructurales de la célula no forma armazones tan largos como los microtúbulos, pero su ubicación preferencial debajo de la superficie celular les da un papel muy importante en el mantenimiento de la forma de la célula. A estos elementos de andamiaje se los conoce con el nombre de *microfilamentos*.

Los últimos componentes, y quizás los menos conocidos del citoesqueleto, también se encargan de mantener la forma celular, pero además contribuyen a mantener en posición a todos los componentes internos y le dan soporte a la envoltura del núcleo. El más conocido de estos *filamentos intermedios* es la *queratina*, componente principal de nuestros cabellos.

Muy lindo todo lo del andamiaje. Pero, ¿y las autopistas? Cómo acabamos de ver, los microtúbulos forman largas estructuras tubulares, las cuales a su vez atraviesan la célula casi en su totalidad, desde el centro hacia la periferia. Pues bien, estas estructuras son aprovechadas como "rutas" para transportar toda clase de cosas, desde pequeños virus hasta grandes mitocondrias. Para ello se utiliza un tipo especial de proteínas a las que se las denomina de manera muy acertada *motores moleculares*. Estos motores generalmente constan de dos partes, un extremo que "camina" por los microtúbulos, y el otro que "engancha" al objeto que se está transportando, lo que permite moverlo hacia cualquier parte de la célula.

Existen otro tipo de motores, pero que se asocian a los microfilamentos, los cuales son conocidos como *miosinas* (del griego

myo=”músculo”). Se los relacionó primero con la contracción muscular, de allí su nombre, ya que abundan en ese tejido, pero también existen en otros tipos celulares, teniendo un papel más que relevante en el transporte de todo aquello que ingresa desde el exterior a través de la membrana plasmática.

Almacenamiento y regulación de la información: el *núcleo*

En el capítulo anterior hemos hablado bastante del núcleo, ya que fue el primer componente que se destacó visualmente en las primeras células observadas al microscopio. Y si bien el núcleo es muy importante, no todas las células lo poseen, pero las que se benefician con su presencia han dado un paso evolutivo muy importante, pues en su interior se conserva la gran mayoría de la información genética de la célula, la cual está almacenada en una molécula de gran tamaño llamada ADN (*Ácido DesoxirriboNucleico*), el cual está formado por dos cadenas complementarias enfrentadas una a la otra y que se organizan en una estructura en forma de hélice, bastante parecida a una escalera caracol.

¿Y los cromosomas? Justamente, los cromosomas son ADN altamente compactado –con la ayuda de proteínas, ¿de qué otra manera podría ser?-, ya que es la única forma de meter tanta información en un espacio tan pequeño.

Básicamente, el núcleo está separado del resto de la célula por una *envoltura*, que está formada por dos membranas, entre las cuales queda un espacio o luz. La membrana más externa, es decir la que tiene contacto con el citoplasma, se continúa con la compleja estructura tubular que produce la mayoría de las proteínas -la sección “armado, ensamblado y control de calidad”-, y a la cual describiremos un poco más adelante en este capítulo.

Como se imaginarán, una membrana doble agrega una mayor impermeabilidad a todo lo que tiene que entrar desde el citoplasma, o a aquello que tiene que salir del núcleo. Para que ese transporte pueda ocurrir, existen unas estructuras proteicas llamadas *poros nucleares*. Estos poros, que atraviesan ambas membranas nucleares, poseen sistemas de control muy complejos para dejar pasar diferente tipo de cosas -pero no cualquiera- entre el citoplasma y el núcleo.

Algunas moléculas pequeñas pueden atravesar la barrera de la envoltura nuclear sin problemas, pero aquellas que son más grandes necesitan la ayuda de proteínas *transportadoras*, que se encuentran asociadas a los poros, y que se encargan del control o "peaje" nuclear.

El núcleo a su vez posee en su interior otra estructura especializada llamada *nucléolo*. Generalmente se lo ve como una mancha más densa dentro del contenido nuclear, y es el lugar donde ocurre el proceso de “ensamblado” de un grupo de proteínas que a su vez es esencial para fabricar proteínas. ¿Confuso? Pues bien, para explicar esto vamos a necesitar un par de paréntesis nucleares para ver algunos de los mecanismos que se llevan a cabo dentro del núcleo.

Paréntesis nuclear 1: funciones del núcleo

Hasta ahora hemos estado hablando mucho sobre las proteínas, lo variadas que son, tanto en su forma como en su función. Pero, ¿de dónde salen? El ADN que se almacena en el núcleo lleva consigo la información genética, es decir todo aquello que se necesita para “armar” un ser vivo. Esa información está guardada en forma de código. Así como las computadoras utilizan el *código binario* -combinaciones de ceros y unos- para almacenar información, las células emplean un *código cuaternario*, basado en infinitas combinaciones de cuatro letras, A, C, G y T, que se corresponden con los bloques que conforman la estructura del ADN. Esas letras provienen de los nombres químicos -*Adenina*, *Citosina*, *Guanina y Timina*- de los componentes básicos del ADN, a los cuales se conoce como *nucleótidos*. Largas extensiones de las más variadas combinaciones de estos cuatro nucleótidos forman lo que se llaman *secuencias*. ¿Y qué codifican estas secuencias? Nada más y nada menos que proteínas. Pero a su vez, como para confundirnos un poco más, las proteínas están formadas por otro tipo de bloques diferentes a los nucleótidos, los *aminoácidos*.

Ahora bien, si el ADN está formado por nucleótidos y las proteínas por aminoácidos -y nucleótidos y aminoácidos no se parecen en absolutamente nada-, ¿cómo se las ingenia la célula para producir proteínas a partir del ADN? Es fácil -o no tanto-, tiene que "traducir" la información. Primero, copia una secuencia particular del ADN, transfiriéndola a otra

cadena intermediaria denominada *Ácido RiboNucleico mensajero*. Este mecanismo en el que se obtiene una copia fiel de una de las dos cadenas complementarias del ADN es conocido como *transcripción* y ocurre completamente dentro del núcleo.

El mensajero obtenido va a servir luego de molde para fabricar a la proteína que está codificada en su secuencia. Pero para ello debe salir del núcleo, y es aquí donde los poros nucleares cumplen un papel relevante, ya que son los encargados de facilitar el pasaje del mensajero hacia el citoplasma.

Modelo para armar

Existen veintiún aminoácidos en la naturaleza, y son más que suficientes para crear a todas las proteínas que se puedan imaginar cuando se los combina de las formas más variadas. Estos aminoácidos difieren en tamaño y carga eléctrica, lo cual hace que al combinarlos de múltiples maneras den lugar a la creación de enzimas que degradan azúcares, motores que "caminan" sobre el citoesqueleto, o receptores y canales que seleccionan exhaustivamente aquello que puede o no atravesar una membrana. Y eso es solo una pequeña muestra de todo lo que pueden hacer las proteínas

Una vez que el mensajero sale, toma contacto con los *ribosomas*, los cuales son una combinación de *ARN ribosomales* -parecidos a los mensajeros, pero más pequeños- y proteínas. Cuando estos dos componentes se ensamblan –proceso que ocurre en el nucléolo que nombráramos al final de la sección anterior- dan forma a dos estructuras casi esféricas que encajan a la perfección una encima de la otra, dejando un pequeño hueco entre ambas. Es por ese diminuto espacio que pasa la cadena del mensajero, tal cual lo hace un hilo a través de una aguja.

Es a partir de ese momento que comienza el proceso de *traducción*. El cuerpo del ribosoma reconoce el código que trae la secuencia del mensajero, y cada tres “letras” del mensaje agrega el aminoácido correspondiente a la nueva cadena proteica que se va construyendo. ¿No se entiende? Veamos un ejemplo. Las cuatro “letras” de las que hablábamos -A, C, G y T- se pueden combinar de a tres en diferentes formas, por ejemplo AGC. Cada grupo de tres letras, corresponden exactamente a un aminoácido según un *código genético*, que ha sido descifrado hace mucho tiempo y que se representa comúnmente en la forma de una tabla para facilitar su “decodificación” de mensajero a proteína. Ahora bien, podemos decir que si

combinamos cuatro letras de a tres, vamos a tener sesenta y cuatro codones diferentes (4 x 4 x 4 = 64), pero en la naturaleza solamente existen veintiún aminoácidos, Entonces, ¿cómo es eso? Pues bien, el código genético es *redundante*, es decir que algunos aminoácidos son codificados por más de una combinación de tres letras (ver recuadro titulado **Mejor que sobre y no que falte**). Una vez traducida la proteína completa a partir del mensajero, la misma se separa de los ribosomas y...Ya vamos a ver más adelante.

El núcleo, además de la producción de mensajeros, tiene a cargo otra función de relevante importancia a la hora de asegurar la descendencia de las células. Previamente a que la división celular se lleve a cabo, se produce en el núcleo la duplicación del ADN o *replicación*, la cual asegura que la información genética que reciben las células hijas luego de la división sea exactamente la misma. Para ello es necesario que primero se “aflojen” los cromosomas, permitiendo así que todo al ADN se copie, para luego volver a “compactar” esa información en cromosomas duplicados, que se van a repartir equitativamente entre las dos células que se van a formar luego de la división.

Mejor que sobre y no que falte

Existen aminoácidos que poseen un solo juego de tres letras que los representa en el mensajero, como es el caso de la *metionina* cuyo trío codificante es el AUG -en el ARN el *Uracilo* reemplaza a la *Timina* del ADN, o sea que hay una *U* en lugar de una *T*-. Pero también hay otros aminoácidos muy redundantes como la *serina*, que es codificada por seis tríos de letras diferentes -UCA, UCC, UCG, UCT, AGU y AGC-. Por otro lado, además de la *redundancia* o individualidad del código genético, existen tres secuencias que no representan aminoácido alguno, y que se consideran de *detención*. ¿Para qué sirven? Imagínense que las proteínas tienen un largo determinado, por lo tanto el mensajero debe poseer una señal que marque donde termina cada proteína, y para eso existen las secuencias UAA, UAG y UGA, conocidas como secuencias de detención o *stop*. Todo esto hace que las sesenta y cuatro combinaciones posibles codifiquen para los veintiún aminoácidos diferentes que existen en la naturaleza, y también para avisar en donde termina cada proteína a través de las tres señales de "pare".

Por lo tanto, la importancia del núcleo no solo reside en la conservación del material genético de la célula, sino que también participa en la regulación de procesos tan importantes como la duplicación del ADN y la

transcripción del mismo a mensajeros que van a servir para producir proteínas. Esto demuestra que el botánico alemán Matthias Schleiden no estaba tan equivocado, allá por mediados del siglo XIX, cuando sugirió que el núcleo era la parte más importante de la célula. Si bien cada componente celular es valioso a su manera, en el núcleo reside toda la información necesaria para que la célula sea lo que es, y si bien en la época de Schleiden todavía no se sabía nada del ADN y los cromosomas, su enunciado afirmando que a partir del núcleo se originaba el resto de la célula, no hace más que asombrarnos por su cercanía con la realidad que actualmente conocemos.

Paréntesis nuclear 2: herencia - de tal palo, tal astilla

Y ya que hablamos de ADN y herencia de células madres a hijas, éste es quizás un momento adecuado para seguir dando vueltas por el núcleo y explicar para qué sirve que el material genético se divida en partes iguales entre las células resultantes de una división.

Ya vimos que en la Teoría Celular Moderna se afirma que "las células contienen la información hereditaria que se pasa de una célula a la otra durante la división celular", y por lo que acabamos de ver esa información está "codificada" en el ADN en forma de genes, que son los bloques que representan a cada proteína de un determinado organismo. Por supuesto que con las proteínas solas no alcanza, pero en gran parte son las encargadas de que seamos lo que somos. De cualquier manera, no hay que olvidar que existen otros componentes importantes para que una célula pueda vivir y funcionar correctamente, como por ejemplo el ADN y los mensajeros, los lípidos o grasas, los azúcares, las vitaminas, los minerales, etc., algunos de los cuales son sintetizados por los mismos organismos -con la ayuda de las proteínas, claro- mientras que otros deben ser incorporados con la alimentación.

Ahora bien, la gran mayoría de nuestras características biológicas -desde el color de ojos hasta ciertas enfermedades, como la diabetes- son heredadas, y eso se sabe desde hace miles de años. A partir de que el hombre se asentó y comenzó a cultivar la tierra y a criar ganado, los antiguos agricultores sabían que cuando seleccionaban semillas de las mejores plantas

iban a tener cultivos excelentes, y los primeros ganaderos se dieron cuenta que las crías se optimizaban si elegían un semental con características sobresalientes para fecundar a sus hembras. Pero claro, no tenían idea acerca de por qué eso ocurría.

En su libro *El Origen de las Especies*, publicado en 1859, el naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882) sugería la existencia de algún tipo de mecanismo por el cual las características de cada individuo eran transmitidas de generación en generación, pero todavía no estaba claro cómo. Todo esto comenzó a desentrañarse unos años después, en 1866, cuando un monje naturalista nacido en Austria publicó sus descubrimientos sobre la herencia de caracteres. Este monje se llamaba Gregor Mendel, y se lo reconoce actualmente como el padre de la genética, que es la especialidad que estudia justamente la transmisión de *caracteres* -o herencia- de una generación a otra. Y decimos actualmente porque sus descubrimientos fueron ignorados por sus pares científicos hasta fines del siglo XIX, varios años después del fallecimiento del monje. Estos así llamados "caracteres" son los que hoy conocemos como *genes*, nombre que les diera en 1909 el botánico danés Wilhem Johannsen (1857-1927).

¿Y cómo logró Mendel desentrañar un misterio oculto por siglos? Pues bien, hagamos un poco de historia que no viene mal. En sus ratos libres, el monje se dedicaba a cultivar todo tipo de plantas en el jardín del convento que habitaba. Pero una de esas plantas, la arveja -también conocida como guisante o chícharo común-, le llamaba la atención, ya que muchas de sus características externas mostraban patrones hereditarios que se correspondían con predicciones matemáticas. A estas características externas actualmente se las denomina *fenotipo* (“manifestación visible de algo”), las cuales están determinadas por los genes, que a su vez en su conjunto conforman el *genotipo* del individuo. Debido a estas observaciones, Mendel decidió estudiar esas características, como el color de la flor y la rugosidad de las semillas, y seguir su distribución a lo largo de varias generaciones. Pero como la genética es bastante complicada por sí misma, y no queremos distraernos de nuestra protagonista principal, la célula, simplemente trataremos de explicar las dos leyes que formuló Mendel en relación a la herencia de los caracteres.

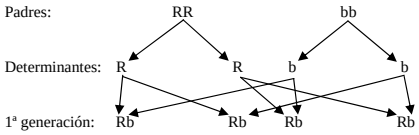
La *Primera ley de Mendel*, como se los conoce a estos enunciados, es la llamada *ley de la segregación*. Para ello, Mendel cruzó ejemplares de

arveja que presentaran dos variantes diferentes de la misma característica. Por ejemplo, cruzó una planta de flores blancas con otra de flores rojas, o de semillas lisas con arrugadas, o con semillas verdes contra amarillas, o plantas altas versus enanas, y así para un total de siete caracteres distintos, y luego se puso a estudiar la descendencia en las diferentes generaciones, haciendo análisis estadísticos de los resultados.

Curiosamente -para esa época por supuesto- en la primera generación de arvejas todas las plantas mostraban solamente una de las características de sus antecesores. En el caso del cruzamiento de ejemplares de flores rojas y blancas, toda la primera generación poseía flores rojas. Pero más curiosa fue la segunda generación, que provenía de cruzar dos ejemplares de la primera, que tenían todas flores rojas. En ese caso las flores rojas seguían diciendo presente, pero las blancas volvían a aparecer, con una proporción de una flor blanca por cada tres rojas. ¿Y dónde estaban escondidas esas flores blancas en la primera generación? Pues bien, en esa generación la información para producir flores blancas estaba oculta en los genes pero no se podía ver en las plantas resultantes. Esa información de los genes recién se hizo visible en la segunda generación. ¿Y cómo ocurrió esto? Mendel encontró brillantemente la respuesta al definir que existen características *dominantes* y *recesivas*. Todas ellas están definidas por caracteres hereditarios -los genes-, existiendo para cada gen un par de determinantes o *alelos*, que en nuestro ejemplo serían rojos y blancos. Cuando ambos determinantes están presentes en un gen, por ejemplo uno para flor roja y otro para blanca, el recesivo –en este caso el que indica que la flor debe ser blanca- se suprime en presencia del dominante –flor roja-, como ocurre con la primera generación de las arvejas, donde el rojo es la característica dominante sobre el blanco, y por lo tanto todas las flores de esa generación serán de ese color.

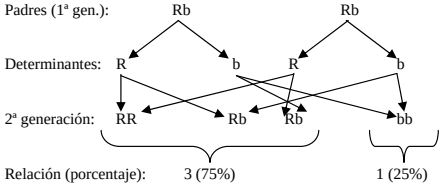
Pero, ¿qué pasa con la segunda generación? Para entenderlo mejor veamos un ejemplo. Supongamos que a la variedad roja, la dominante, la representamos con la letra R. Como existen dos determinantes por gen, nuestra planta original va a ser RR. En el caso de la planta blanca, representaremos al gen que codifica esta característica recesiva como bb. En este punto cabe aclarar –como para complicarnos más la vida- que tanto en las plantas como en los animales existe un tipo de células que posee la mitad de los determinantes de cada gen, y esas son las células reproductoras, que en el

caso de las plantas son el polen y el óvulo. De esta manera cuando la célula “masculina” -el polen- y la “femenina” -el óvulo- se combinan durante la polinización, se producirán semillas con dos determinantes, uno de cada padre. Veamos qué pasa cuando se cruzan una planta RR (flores rojas) con una bb (flores blancas) para dar la primera generación:



Como puede observarse, todos los descendientes de este primer cruce poseerán ambas variedades de color en sus genes, pero solo podrá verse el dominante, resultando en un cien por ciento de flores rojas (Rb). A los individuos que poseen un mismo determinante en su gen, como RR o bb, se los llama *homocigotas*. En el caso de los miembros de la primera generación, que poseen ambas variantes en un mismo gen (Rb), se los describe como *heterocigotas*.

Ahora veamos el resultado de una segunda generación a partir del cruzamiento de dos miembros de la primera:



Ahora podemos ver que tres de cada cuatro plantas van a ser rojas, ya que una posee los dos determinantes para el carácter rojo (RR) y las otras dos llevan ambas variantes, en donde el rojo domina sobre el blanco (Rb). La restante planta recibirá un par de determinantes blancos (bb), por lo cual ahora sabemos que este carácter estaba escondido en la primera generación pero resurgió en una cuarta parte de la segunda.

Por lo tanto la Primera Ley de Mendel establece que cada determinante de un par se separa o segrega del otro miembro durante la formación de las células reproductoras, de manera que cada generación reciba un determinante de cada padre. En el caso de cruces de individuos de raza pura -en nuestro ejemplo los RR y los bb-, el resultado será que todos los descendientes de la primera generación serán todos iguales, mientras que la característica recesiva sólo se hará presente en la cuarta parte de la segunda generación, gracias a la segregación de los determinantes provenientes de la descendencia resultante del cruce entre individuos de raza pura.

No todo es lo que parece

Con los avances de la genética se encontraron muchas variaciones a las leyes de Mendel, como por ejemplo la *codominancia* -que en nuestro ejemplo sería el caso de obtener flores rosadas cuando el individuo posee determinantes rojos y blancos en un mismo gen-, o la existencia de determinantes múltiples, como es el caso de los grupos sanguíneos humanos, en donde existen tres de ellos, que al combinarse en diferentes pares dan la variedad existente de dicho carácter (AA, AO, BB, BO, AB y OO).

A la *Segunda Ley de Mendel* se la conoce como la de *segregación independiente*. Para enunciarla, Mendel realizó el mismo tipo de experimentos que utilizó en la primera ley, pero ahora estudió más de un carácter a la vez, y se dio cuenta de que la segregación de los determinantes de un par es independiente de la de otro par. Esto quiere decir que la descendencia de cruzamientos entre flores blancas y rojas no se va a ver influenciada por lo que ocurra con las siguientes generaciones en relación a otro carácter, como ser la lisura o rugosidad de las semillas. Nuevamente, existen excepciones a esta ley, ya que ahora se sabe que algunas características están definidas por más de un gen, y que estos genes interaccionan entre sí, dando lugar muchas veces a variantes inesperadas o a proporciones de lo más extrañas (ver recuadro titulado **No todo es lo que parece**).

El ADN se duplica pero, ¿cómo se dividen las células?

En determinado momento de la vida de una célula, esta decide dividirse, ya sea porque lo tiene programado, porque el medio que la rodea se lo ordena, o por otras causas. Esta decisión está marcada por lo que se conoce como *Ciclo Celular* (ver recuadro **La vida es un ciclo**) el cual está altamente regulado en cada uno de sus pasos para evitar errores que podrían llevar a grandes desastres, como defectos en el desarrollo, muerte celular o cáncer.

La vida es un ciclo

El ciclo celular está conformado por cinco períodos bien diferenciados: un período de "descanso", otro donde la célula se alimenta, crece y se prepara para dividir su ADN, el período de duplicación del ADN, una segunda etapa de alimentación y crecimiento, y finalmente la división celular o mitosis.

Algunas células bien diferenciadas dejan de dividirse y entran en un período de "descanso" permanente, como es el caso de muchas neuronas de nuestro cerebro -pero no todas-. Otras células continúan desarrollándose durante toda la vida del individuo, como pasa con aquellas que forman parte del torrente sanguíneo y de nuestro sistema inmune.

La división celular -bautizada *mitosis* por Walther Flemming- está compuesta por cinco fases. Durante las primeras de ellas se produce la ya mencionada "compactación" del ADN para formar los cromosomas, los cuales van a moverse por "caminos" construidos por los microtúbulos. Estos componentes del citoesqueleto van a agruparse de una manera muy particular entre ambos polos de la célula que se va a dividir, constituyendo lo que se conoce como *huso mitótico*, llamado así por poseer una forma similar al instrumento que se utiliza para hilar y devanar la lana. Para que quede más claro, si la célula fuera como un globo terráqueo, los microtúbulos de este "huso" serían como los meridianos, que son las líneas que unen los polos norte y sur de nuestro mundo. Por esas líneas se van a mover los cromosomas, una copia para cada polo.

Para que todo esto ocurra, primero se tiene que "disolver" la membrana nuclear, y los cromosomas se deben ubicar en el "ecuador" de la célula. A partir de allí comienzan a moverse, y una vez que llegan a destino, en los

extremos opuestos de la célula, queda asegurado que cada polo poseerá copias idénticas del material genético original. Es a partir de esas últimas fases de la división celular que cada grupo de cromosomas comienzan a ser rodeados de su propia membrana nuclear, el resto de los componentes celulares se reparten más o menos en partes iguales, y la membrana plasmática comienza a "estrangularse" a la altura del "ecuador", hasta un punto en que se corta, dejando así a dos células hijas idénticas a su "madre".

Ahora bien, antes de salir del núcleo conviene explicar un último mecanismo, el cual se encarga de la producción de las células reproductoras. Cabe recordar que este tipo de células son las únicas que poseen la mitad de los determinantes de cada gen -los que fueron denominados "R" y "b" en los cruzamientos de las plantas de arveja-, lo cual se logra gracias a un proceso similar a la mitosis que se conoce como *meiosis*, el cual es llevado a cabo solamente por los hongos, las plantas y los animales, y que en el ser humano ocurre en los testículos del hombre y en los ovarios de la mujer.

De alguna manera, y como para simplificar los conceptos, podemos decir que la meiosis son dos divisiones celulares consecutivas. En la primera, los cromosomas -que recordemos vienen de a pares y que a su vez tienen duplicada su carga de ADN- son los que viajan directamente a los polos de la célula, por lo que al dividirse las células resultantes, estas van a tener la mitad del número de cromosomas original. En el caso de los seres humanos –que tenemos veintitrés pares-, cada célula tendría veintitrés cromosomas en lugar de los cuarenta y seis originales, pero con su carga de ADN duplicada.

En cada una de las dos células obtenidas se lleva a cabo la segunda división de la meiosis, que se parece mucho a una división celular común, con la diferencia que ahora lo que migra a cada polo es una copia duplicada de cada cromosoma, obteniendo así cuatro células con la mitad del material original, a las cuales se las denomina células reproductoras o *gametas*.

Para entenderlo mejor, volvamos a las arvejas de Mendel y sigamos a los cromosomas que llevan el gen que determina el color de la flor. Cada planta va a tener en sus células un par de cromosomas idénticos de este tipo, cada uno llevando dos determinantes, supongamos que sean Rb (planta con flores rojas). Por lo tanto, las células que van a dar origen a las reproductoras van a tener un par de cromosomas con los determinantes Rb cada uno. Durante la primera división de la meiosis se van a producir dos células, cada una ahora con un cromosoma Rb, o sea que van a tener la mitad de los

cromosomas de la célula madre pero ambos determinantes. En la segunda división de la meiosis, se van a separar las copias de ADN, cada una con un determinante, por lo tanto se van a obtener cuatro células reproductoras, dos con un determinante R y dos con un determinante b cada una. De esta manera, cuando dos células reproductoras se crucen, se va a recuperar el número de cromosomas original y cada característica va a estar definida por los dos determinantes presentes en cada gen.

Ahora sí, ya podemos dejar al núcleo, su ADN y la herencia, para continuar conociendo al resto de los componentes de la célula.

Batería celular: la *mitocondria*

Estos componentes celulares son nada más y nada menos que los generadores de energía de las células, aunque no todas ellas las tienen. Por ejemplo, las bacterias carecen de estos componentes, pero ello no implica que no puedan generar energía, ya que justamente existe una teoría que sugiere que las mitocondrias son descendientes directos de las bacterias. Pero eso lo veremos en detalle en un rato.

A diferencia del núcleo, que generalmente es uno solo por célula, el número de mitocondrias varía según el tipo celular, pudiendo ser una sola o miles. Su estructura es muy particular, ya que si bien poseen una doble membrana como el núcleo, cada una de estas membranas, así como los espacios entre ellas, tiene funciones particulares.

Particularmente, dentro de los pliegues que forma la membrana más interna de las mitocondrias, se localizan las proteínas encargadas de elaborar la energía, la cual se obtiene a partir de los nutrientes que incorpora la célula -sobre todo los azúcares- y del oxígeno del aire.

En el interior mitocondrial además podemos encontrar ribosomas –los encargados de traducir el mensajero a proteína- y ADN, el cual codifica para proteínas específicas de la mitocondria. ¿Pero no era que el ADN se encuentra solo en el núcleo? No es tan así en el caso de las mitocondrias, las cuales no solamente poseen su propio ADN, sino que en lugar de tenerlo compactado en cromosomas lo llevan enrollado en una especie de anillo que carece de la protección de una membrana, lo mismo que sucede en las bacterias. ¿Y para qué sirve saber todo esto? Justamente está relacionado con

la teoría que se mencionara anteriormente acerca del origen de las mitocondrias en organismos superiores (hongos, plantas y animales).

El notable parecido entre las mitocondrias y los microbios que tanto estudiaban Pasteur y compañía, llevó a la bióloga estadounidense Lynn Margulis (1938-2011) a postular una teoría que sostiene que hace miles de millones de años una bacteria que era capaz de utilizar nutrientes orgánicos y oxígeno para producir energía, se fusionó con una célula de un organismo superior -que probablemente se la haya comido, pero no digerido-, y de este modo se habría establecido una relación simbiótica entre ambas, es decir un vínculo en el que una se beneficiaba de la otra, ya que mientras el nuevo componente celular -ex-bacteria, actual mitocondria- aportaba energía, la célula hospedadora contribuía con los nutrientes necesarios para la producción de esa energía. Algo parecido le pasó a las plantas, así que ahora conozcamos al primo hermano de las mitocondrias, los cloroplastos.

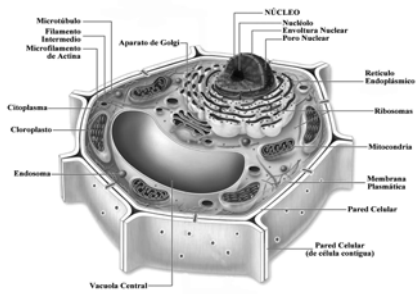
Panel solar: el *cloroplasto*

En las plantas y algas, aparte de las mitocondrias existe otro tipo de generador de energía muy especializado, los *cloroplastos* ("partícula verde"). Por su estructura, función y ADN circular propio, también se cree que se han adaptado como componentes celulares según la teoría explicada en la sección anterior para las mitocondrias, solamente que en lugar de originarse a partir de una bacteria se cree que derivaron de unas pequeñas algas unicelulares llamadas algas azul-verdes o *cianobacterias*.

La estructura de los cloroplastos es similar a la de las mitocondrias pero un poco más compleja. Posee también una doble membrana -interna y externa-. La membrana interna posee unos discos o sacos apilados en donde se encuentra toda la maquinaria proteica para llevar a cabo la *fotosíntesis*, que es el proceso que permite obtener energía y nutrientes a partir de la luz, la cual es captada por pigmentos como la *clorofila* y los *carotenoides*, el primero responsable del color verde de las hojas, y el segundo de los tonos rojo-anaranjados de algunos frutos y hortalizas, como el tomate y la zanahoria.

La fotosíntesis y otros procesos asociados, permiten que a partir de los nutrientes básicos que toma la planta del ambiente, junto con el dióxido

de carbono del aire, se produzcan nutrientes complejos -como azúcares-, que sirven tanto para el desarrollo vegetal como para alimento de otros organismos, liberándose oxígeno a la atmósfera durante el proceso. Una parte de los azúcares que se producen por fotosíntesis también son utilizados por las mitocondrias para producir energía de la manera que vimos en la sección anterior, ya que las plantas poseen ambos componentes como generadores energéticos, a diferencia de los animales, que no disponen de cloroplastos.



Esquema general de una célula vegetal mostrando sus características distintivas (cloroplastos, pared celular y vacuola)

La fábrica más eficiente: *retículo endoplásmico* y *aparato de Golgi*

Al principio de este capítulo ya describimos a estos componentes como eficaces fábricas de proteínas. El primero de ellos, la sección "armado, ensamblado y control de calidad" (o *retículo endoplásmico*), debe su nombre científico a que es justamente un sistema de membranas internas tubulares

reticulares. Estas tuberías que abarcan casi todo el interior del citoplasma celular, cumplen varias funciones vitales para la célula.

Una de sus tareas más importantes es la de la síntesis y el plegamiento de proteínas. Ya vimos unos párrafos más arriba que las proteínas son fabricadas a través del pasaje de los mensajeros a través de los ribosomas, proceso que puede ocurrir ya sea en ribosomas sueltos que navegan por el citoplasma, o en ribosomas que se encuentran directamente pegados a la membrana del retículo. En el primer caso, las proteínas sintetizadas son liberadas directamente en el citoplasma, mientras que en el segundo son despachadas al interior de las tuberías del retículo a medida que se van produciendo. Es allí adentro en donde entra en acción una maquinaria muy afinada, que se encarga de "darle forma" a las proteínas, plegándolas de acuerdo a la información que lleva su secuencia, ya que como vimos (ver recuadro titulado **Modelo para armar** en la sección **Paréntesis nuclear 1: funciones del núcleo**), los aminoácidos que las componen difieren en tamaño y carga eléctrica, y eso hace que necesiten "acomodarse" a la nueva estructura que se va formando durante la traducción del mensajero.

Lo maravilloso de este sistema de plegado es que también sirve como punto de control de calidad, ya que aquellas proteínas que no se pliegan correctamente por algún error en la traducción, son eliminadas completamente y se ven impedidas de salir del retículo. De hecho, cuando alguna proteína defectuosa logra escapar, suelen provocarse descalabros irreparables que son típicos de algunas enfermedades humanas en las cuales este sistema de control falla.

Luego de que las proteínas son fabricadas y plegadas, y una vez pasado el "control de calidad" dentro del retículo, la mayoría de ellas sale al citoplasma dentro de *vesículas*, las cuales son desprendimientos de membrana que sirven como transporte entre diferentes partes de la célula. La característica principal de las membranas biológicas -que gracias a los fosfolípidos permiten separar dos ambientes acuosos-, proporciona a las vesículas un espacio interno en el que pueden llevar todo tipo de cosas -como si fueran burbujas rellenas-, de manera que las mismas funcionarían como un "transporte de cargas".

A pesar de la ardua tarea del retículo para producir, plegar y controlar proteínas, a un gran número de ellas todavía se le deben agregar algunos "detalles" finales, necesarios para que puedan cumplir con sus

funciones específicas. Estos detalles generalmente consisten en el agregado de azúcares, que muchas veces sirven para que una proteína pueda reconocer a otra, o para que sea capaz de dirigirse a un lugar específico de la célula. Este paso "ornamental" se lleva a cabo en el siguiente componente celular que vamos a describir, la sección de "afinación" o "tuneado", y que ya hemos mencionado en otro capítulo, el *aparato de Golgi*.

Este "aparato", que como sabemos lleva el nombre de su descubridor, es una especie de apilamiento de membranas en forma de discos, que tienen el aspecto de varias hogazas de pan de árabe una arriba de la otra. Dentro de esos discos se localizan las enzimas encargadas de "tunear" a las proteínas que vienen llegando desde el retículo, de manera que al terminar de atravesar todos los discos nos vamos a encontrar con proteínas hechas y derechas, listas para comenzar a trabajar en la función para las que fueron destinadas.

Actualmente se sabe que el aparato de Golgi no se comunica solamente con el retículo o con la membrana plasmática, sino que también tiene intercambio con otros componentes que forman parte del sistema de *reciclado celular*, el cual será nuestra última parada en este apasionante viaje.

Destino proteico

¿Hacia dónde van las proteínas una vez que abandonan el aparato de Golgi? Pueden dirigirse e insertarse en la membrana plasmática -como algunos de los receptores y canales que describimos-, liberarse al exterior, como es el caso de los *neurotransmisores* en el cerebro -que sirven para comunicar a unas neuronas con otras-, algunos *anticuerpos* -necesarios para defendernos de los gérmenes que invaden nuestro cuerpo-, o la *insulina* -que es utilizada para regular el nivel de glucosa en sangre-. Las proteínas terminadas también pueden movilizarse a otros lugares de la célula, como en el caso de las enzimas digestivas de los *lisosomas*, que veremos en la siguiente sección, o como ocurre con algunas de las proteínas que las mitocondrias no pueden sintetizar por sí mismas, o aquellas que se necesitan para duplicar el ADN o producir los mensajeros en el núcleo.

¡Hay que reciclar!: *endosomas* y *lisosomas*

En la célula, y generalmente no muy lejos de su superficie, suelen verse grandes vesículas, pero a diferencia de las que vimos más arriba no tienen una función de transporte de cargas, sino que llevan a cabo tareas un poco más complejas en el área de "reciclado". A estos componentes se los conoce con el nombre de *endosomas* ("cuerpos internos").

Comencemos con una de sus tareas. En este caso vale recordar a los receptores de membrana, que son las proteínas encargadas de recibir las señales que vienen del exterior celular para traducirlas y transferirlas hacia el interior (ver al principio de este capítulo el recuadro **Puente entre dos mundos**). Este sistema de "llave-cerradura" permite que algo de afuera le indique al interior de la célula lo que tiene que hacer adentro. Esas "cerraduras" -los receptores- pueden volver a utilizarse, pero para ello necesitan que se les quite la "llave" -que puede ser por ejemplo una hormona-. Pero en las células no es un proceso tan simple como "girar y sacar", ya que las uniones entre el receptor y la hormona son generalmente muy fuertes y estables. Y es aquí en donde hacen su aparición los endosomas.

Luego de que receptor y hormona se unen, y una vez cumplida su función de transmitir la señal al interior celular, el conjunto se separa de la membrana plasmática y se introduce dentro de un endosoma, el cual en su espacio interior posee una "acidez" mayor a la del resto de la célula, lo que permite que el receptor y la hormona puedan separarse con mayor facilidad (ver recuadro **Aflojando un poco**). De esta manera, el receptor puede volver vacío a la membrana para ser reutilizado -de allí lo del "reciclado"-,

Aflojando un poco

La "acidez" dentro de los componentes celulares de reciclado es una característica de central importancia. Cuanto más ácido es el contenido dentro de estos espacios, mayores son las posibilidades que dos proteínas unidas fuertemente se separen, o que inclusive se degraden.

Un ejemplo claro del poder de la acidez son las gaseosas cola. Estas bebidas son muy ácidas, y es gracias a esa característica que se las ha usado durante mucho tiempo para aflojar tornillos o despegar calcomanías, de manera similar -aunque en un ejemplo un poco exagerado- a lo que ocurre cuando "se afloja" o "se despega" a la hormona de su receptor. De cualquier manera, esto no es motivo para dejar de beber dichas gaseosas, ya que un efecto similar se puede obtener si se utilizan otros líquidos de alta acidez, como el limón o el vinagre.

mientras que generalmente la hormona, que ya cumplió su función, continúa viaje hacia su destrucción, como veremos más adelante.

No solo las "llaves" de los receptores siguen el camino de la degradación, sino que también objetos extraños que se atreven a entrar a las células -como bacterias, parásitos o virus-, y hasta componentes celulares en desuso -como las mitocondrias "viejas"-, son dirigidos a los compartimientos más ácidos del sistema de reciclado, conocidos como *lisosomas* ("cuerpos destructores"). Estos componentes no solo se caracterizan por su extrema acidez, sino que para asegurarse de destruir todo lo que les llega, también contienen enzimas digestivas que pueden romper azúcares, proteínas y grasas hasta llevarlos a su mínima expresión. Como para que quede claro que este es un sistema de reciclado, muchos de los productos de esta degradación en el lisosoma –entre ellos nucleótidos y aminoácidos- pueden reutilizarse, por ejemplo para la fabricación de nuevos ADN, mensajeros o proteínas. Queda claro que casi nada se desperdicia en la célula.

Ahora sí, ya hemos hecho nuestro recorrido por el interior de la célula. Ya no quedan más lugares por recorrer -por lo menos no se han descubierto más al momento de escribir este libro-, así que ahora nos vamos a dedicar de lleno a ver cuántos tipos de células existen en nuestro planeta, donde habitan, que similitudes y diferencias poseen, y sobre todo que funciones tienen en la naturaleza o en los organismos de los que forman parte.

CAPÍTULO 4

Una célula, muchas células: la variedad de la vida

Dominios celulares: a falta de núcleo, bueno es un cromosoma

La principal división *taxonómica* de las células, es decir la forma de ordenar a las células en un sistema de clasificación, tiene que ver con un aspecto muy importante de su estructura y conformación. Habíamos visto hace un par de capítulos a las "manchas opacas" de Robert Brown, que fueron luego bautizadas como *núcleos*, los cuales vimos poseen un rol central en el desarrollo y la perpetuación celular.

Pero con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología, se descubrió que no todas las células tienen núcleo. En algunas, las más primitivas, el material genético -el ADN- no está protegido por ninguna membrana y se encuentra directamente dentro del citoplasma. A estas células se las llamó *procariotas*, del griego *pro*="antes" y *karion*="nuez o núcleo", es decir "antes de la existencia del núcleo". Este nombre -antes del núcleo- sugiere que el núcleo celular evolucionó mucho tiempo después de la aparición de estos microorganismos, dando lugar a lo que posteriormente se conoció como el grupo de los *eucariotas* -del griego *eu*="verdadero"- que son aquellos que poseen un "núcleo auténtico".

Básicamente en el primer grupo, el de los procariotas, se ubicó a todas las bacterias, y en el otro grupo al resto, es decir hongos, protozoos –donde se ubican la mayoría de los parásitos que conocemos-, plantas y animales –en donde estamos incluidos nosotros-. Pero con el avance de la biología molecular comenzó a notarse que dentro de los procariotas existían dos grupos de microorganismos que diferían bastante entre sí, no solo en el aspecto genético, sino también al nivel de estructura, composición y metabolismo. Uno de los grupos, llamado *archaea* -del griego "cosa antigua"-, poseía algunas características más similares a las de los eucariotas -a pesar de no poseer un núcleo verdadero- que a las de sus primas las bacterias, por lo tanto a ambos, archaea y bacterias, se los consideró como dos grupos bien diferenciados dentro de microorganismos que antes eran conocidos como procariotas.

Así que a partir de este momento vamos a indagar de qué se trata cada uno de estos grupos y qué características poseen las células que los componen.

Procariotas extremos: las *archaea*

Cuando fueron descubiertas las primeras especies de este grupo, se las catalogó como *extremófilas*, es decir que tienen preferencia para vivir en ambientes extremos. Por ejemplo, estos microorganismos suelen encontrarse en lugares de muy altas temperaturas o de grandes concentraciones salinas. Son también muy abundantes en el mar, donde forman parte del *plankton*, una de las fuentes de alimento más abundantes de la cual se nutren las ballenas y numerosas especies de peces que habitan los océanos.

Con sus "primas" las bacterias comparten la principal característica de no poseer su ADN dentro de un núcleo aislado dentro del citoplasma. Pero como se mencionó antes, poseen ciertas particularidades que los asemejan a los organismos que sí tienen núcleo, como por ejemplo el parecido que tienen algunos de sus genes, la utilización en sus membranas de un tipo de lípidos particulares, y su aprovechamiento de las diversas fuentes que les ofrece la naturaleza para obtener nutrientes, como el nitrógeno, el azufre o, al igual que las plantas, el carbono, que obtienen a partir del dióxido de carbono de la atmósfera. Y de manera similar a como lo hacen sus verdes parientes lejanos, muchos miembros de este grupo también pueden obtener energía y alimento a partir de la luz solar.

Volviendo a los "extremos", sabemos que algunas especies de este grupo se han descubierto en ambientes cuyas temperaturas pueden superar los cien grados centígrados, como géiseres y pozos petroleros, o en aguas

Vida extraterrestre

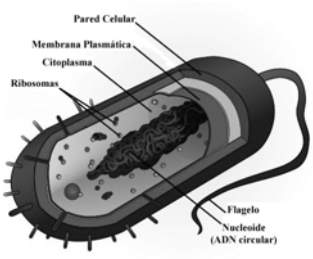
Si bien no todas las archaea viven en lugares extraños, son justamente las "raras" las que obviamente han llamado más la atención. Inclusive hasta hubo quien se atrevió a especular que debido a su gran resistencia a condiciones extremas podrían haber sido capaces de viajar por el espacio en meteoritos, y que de esa manera sería como la vida comenzó en nuestro planeta, una hipótesis sobre la que aún no existen pruebas fehacientes que la apoyen y que es conocida como *panspermia*, la "semilla del todo".

cercanas a su punto de congelación, como en los océanos polares. En el caso de muchas de estas especies extremófilas, su extrema resistencia a las condiciones adversas del medio ambiente se debe a la existencia de una fuerte pared celular, la cual rodea a la membrana plasmática, protegiendo a toda la célula.

Hasta aquí las principales características de este curioso grupo, que seguramente va a seguir aportando novedades en los próximos años. Ahora pasaremos a sus parientes más cercanos (¿o no?), las bacterias, en donde veremos más detalles sobre las estructuras y la conformación que comparten estas células con las archaea.

Procariotas útiles y malvados: las *bacterias*

En este grupo de organismos unicelulares vamos a encontrar una amplia variedad de formas, hábitats y funciones, al igual que dentro de las archaea, con quienes comparten un papel muy importante en la naturaleza. Si bien muchas veces las incluimos en la categoría "microbios" o "gérmenes", no todas las bacterias son causantes de enfermedades, sino que también pueden trabajar para ayudarnos en múltiples tareas, no solo en la fabricación de bebidas y alimentos como hemos visto anteriormente, sino también en la elaboración de combustibles -biogás o gases de origen biológico-, descontaminación -degradación de derrames de petróleo en el mar-, minería -extracción de metales como oro, plata y cobre en un proceso llamado *biolixiviación*- y



Características principales de la célula bacteriana

medicina -producción de antibióticos-, entre otros útiles servicios.

Pero antes que nada pasemos a la célula bacteriana en sí. En lo que se refiere a la estructura celular general, las bacterias y las archaea son bastante parecidas. Como hemos visto, una de las características principales de estos dos grupos es que su información genética se encuentra dentro de la célula sin ninguna membrana que lo aísle del citoplasma, es decir que no poseen núcleo -de ahí que ambos sean considerados procariotas-. El ADN, al igual que el de las mitocondrias y cloroplastos que vimos antes –recordemos que las bacterias podrían ser sus antecesoras-, suele ser circular, mientras que el resto de su citoplasma no posee componentes especializados, con contadas excepciones.

Muchas de las funciones metabólicas de las bacterias, sobre todo aquellas que involucran la producción de energía, son realizadas en su membrana plasmática, lo que se asemeja bastante a lo que ocurre en las mitocondrias. En muchas bacterias, además de esa membrana existe lo que se conoce como *pared bacteriana*, que es una estructura muy densa y resistente que recubre al microorganismo protegiéndolo del ambiente externo.

Si bien la mayoría de las bacterias se multiplican por división, muchas de ellas, cuando se presentan condiciones adversas en el medio que las rodea, forman lo que se conocen como *endosporas*. Ya las hemos mencionado cuando se trató el tema de Pasteur y el ántrax, y vimos que podían permanecer mucho tiempo en el suelo y producir el contagio del ganado que las consumía. Estas estructuras son capaces de resistir las condiciones más extremas que se puedan imaginar, como calor, sequía, radiación, ¡y hasta el vacío del

Algo huele mal

No toda interacción entre las bacterias y nosotros se refleja en enfermedades, sino que también puede ser beneficiosa. El mejor ejemplo es lo que se conoce como la *flora intestinal*. Dentro de nuestro intestino habitan muchísimas especies de bacterias y archaea, cuyas funciones nos permiten digerir alimentos que por nuestra cuenta no podríamos, como algunos azúcares complejos. Un ejemplo de esto último es la *rafinosa*, que abunda en los porotos (alubias o frijoles), la cual es fermentada en nuestro intestino por la flora bacteriana, produciendo un volumen más que incómodo de gases -¿quién no hizo alguna vez chistes de porotos y flatulencias?-.

espacio exterior!, alimentando una vez más la teoría de que la vida a la Tierra llegó desde otra parte del universo.

Las formas de las células bacterianas pueden ser de lo más variadas, pero las más abundantes son las esféricas, conocidas como *cocos*, y las cilíndricas, llamadas *bacilos*. Existen también otras con estructura en forma de tirabuzón -como las *espiroquetas* que causan la sífilis-, y alguna que otra modificación de todas estas formas básicas. Si bien son organismos unicelulares, las bacterias pueden formar estructuras multicelulares a través de la creación de cadenas o racimos, e inclusive acumularse en varias capas formando lo que se conoce como *biofilm*, que es el caso de la *placa dental* que se constituye cuando se descuida el cepillado de los dientes, llevando con el tiempo a la formación de sarro y caries.

Bueno, como ya hemos visto bastante de las bacterias patógenas o causantes de enfermedades en el capítulo dos -con Pasteur y Koch-, hagamos otro pequeño salto en la evolución y avancemos a los siguientes y más complejos tipos celulares: los eucariotas.

Eucariotas sencillos: *protistas* y *hongos*

<u>Protistas</u>

Los protistas -cuyo nombre proviene del griego *protiston* y quiere decir "el primero de todos"- son en su mayoría unicelulares y microscópicos, pero existen algunos que son capaces de establecer grandes grupos de células que pueden llegar a formar estructuras de hasta ¡cien metros de largo!

La reproducción de los miembros de este grupo es generalmente por división -algunos forman esporas-, al igual que archaea y bacteria. A diferencia de estos últimos, y obviamente al ser eucariotas,

Algas para crecer bacterias

Algunas *algas rojas*, aparte de servir como alimento en determinadas culturas, son también la fuente del previamente mencionado *agar-agar*, descubierto por uno de los ayudantes de Robert Koch, y que es la sustancia gelatinosa que se viene utilizando desde hace varias décadas para solidificar los medios de cultivo que se usan para crecer bacterias en el laboratorio.

poseen su ADN dentro de un núcleo, y además la mayoría tienen la particularidad de poseer algún tipo de componentes internos, como por ejemplo mitocondrias y/o cloroplastos, aunque usualmente no tienen aparato de Golgi.

Los protistas suelen clasificarse en tres grupos, los que "se parecen" a las células animales, llamados *protozoa* -"el primer animal u organismo"-, aquellos quienes "se comportan" como plantas, conocidos como *algae*, y los que "se asemejan" a los hongos, denominados *mohos*.

Entre los "similares" a los animales tenemos a los *flagelados*, en donde podemos encontrar muchos parásitos, como los causantes de la enfermedad de Chagas -*Trypanosoma cruzi*- y de la enfermedad del sueño -*Trypanosoma brucei*-.

Los que se "asemejan" a las plantas poseen la capacidad de producir oxígeno gracias a pigmentos que participan en la fotosíntesis, sobre todo la clorofila y los carotenoides, a los que ya vimos en la descripción de los cloroplastos en el capítulo tres. Es en este grupo donde podemos encontrar a los *dinoflagelados*, que quizás no suene mucho por el nombre pero sí por ser los principales causantes de las "mareas rojas", que se dan en las zonas costeras e impide el consumo de frutos de mar debido a la toxicidad de estos protistas. Otros miembros notorios de este grupo son las *algas marinas*, que en agua salada pueden formar

Mala fama

Uno de los miembros más famosos entre los *mohos* es la *Fitóftora*, debido a que este protista fue el causante de una de las hambrunas más desastrosas del siglo XIX. Resulta que por aquellas épocas, los campesinos irlandeses basaban gran parte de su dieta en la papa, debido a que es un cultivo altamente rendidor que resiste el agreste clima de la región, mientras que los otros cultivos -trigo, maíz- se los quedaban los dueños de la tierra -en su mayoría aristócratas británicos-, quienes exportaban gran parte de esos granos a Inglaterra.
En 1845, los cultivos de papa se infectaron con *Fitóftora*, perdiéndose la cosecha por completo, y sumiendo ese año y el siguiente a la mayoría de la población de Irlanda en una de las mayores hambrunas de las que la humanidad tenga memoria. Entre los muertos -más de un millón- y los emigrados -otro millón más-, solo las tres cuartas partes de la población de Irlanda sobrevivieron al desastre. Al día de hoy, este "famoso" protista sigue trayendo problemas a los cultivos de papa y de otras hortalizas de la región.

estructuras de varios metros de largo, y a las cuales se las divide en *algas rojas* y *algas pardas*.

Y finalmente tenemos a los protistas que "parecen" hongos, es decir los *mohos*. Las células que forman parte de estos organismos pueden vivir aisladas o agruparse en grandes estructuras gelatinosas que se alimentan de los restos en descomposición del suelo, e inclusive son capaces de formar esporas cuando las condiciones no son favorables. Si bien no son muy conocidos entre nosotros, en Irlanda han declarado a uno de sus miembros "persona no grata" (ver recuadro **Mala fama**)

Ahora sí, pasemos a los verdaderos hongos, que también pueden hacer estragos, pero que además nos dan los antibióticos y algunos dan muy buen sabor a las comidas.

Hongos

A partir de los hongos, comienzan a aparecer los verdaderos organismos multicelulares, aunque también existen unicelulares en este grupo, como nuestras viejas amigas las levaduras.

Si bien dentro de los protistas -sobre todo en las algas- también pueden observarse estructuras formadas por muchas células, estas nunca pierden su identidad individual, ni tampoco forman grupos dentro del organismo que posean funciones independientes del resto, como ocurre con los tejidos. Por lo general se define como tejido a agrupamientos de células que poseen una misma función, y si bien quienes lo componen pueden no ser idénticos, el origen de todas aquellas células que forman un tejido en particular es siempre el mismo.

Es a partir de este grupo donde comienzan a aparecer todos los componentes celulares juntos dentro del citoplasma, tal y como los ha sido descrito en el capítulo anterior. Justamente es en los hongos que comienzan a aparecer las estructuras membranosas complejas como el retículo endoplásmico y el aparato de Golgi, las mitocondrias dicen presente todo en tiempo, y los componentes del sistema de reciclado empiezan a mostrar su verdadera función.

Las diferencias más notorias entre las células de los tres últimos grupos que describiremos se van a notar más que nada en sus paredes celulares y en el grado de especialización y complejidad que irán adquiriendo las células a medida que avancemos en la evolución de los organismos de las cuales forman parte. Con respecto a la pared celular -que rodea a la membrana plasmática de la célula-, tanto la de las algas protistas como la de las plantas está formada esencialmente por *celulosa*, mientras que la de los hongos tiene como componente principal a la *quitina*, que también aparece en las cubiertas de insectos, cangrejos y langostinos (ver recuadro **Construyendo paredes**).

Construyendo paredes

En realidad, la ensalada de paredes celulares entre protistas, insectos y plantas no sería tan rara como aparenta, ya que muchos componentes estructurales -como la celulosa y la quitina- provienen todos de un mismo azúcar, la glucosa, que al formar largas cadenas consigo misma o con alguno de sus derivados, genera estructuras de extrema fortaleza e impermeabilidad, pero a su vez bastante flexibles.

De cualquier manera, es importante aclarar que las células animales no poseen pared, y que la quitina que le da dureza a los caparazones de los cangrejos o a las alas de las cucarachas, forma parte de un revestimiento no celular –una especie de "coraza"- que les sirve a estos animales como un esqueleto externo a falta de uno interno.

Como los hongos no pueden producir su propio alimento -al contrario de las plantas-, utilizan la materia orgánica circundante para obtener los nutrientes necesarios para vivir. Por lo general sueltan enzimas que degradan esa materia orgánica -por ejemplo sobre troncos de árboles, hojas secas, etc.-, absorbiendo luego las moléculas simples resultantes -los nutrientes- a través de unas estructuras específicas que muchas veces se parecen en aspecto a las raíces de las plantas. Estas estructuras especializadas están constituidas por un agrupamiento de células en fila conocido como *micelio*, el cual también puede formar parte de la "pelusa" que distingue a los *penicillium* fabricantes de penicilina, o puede ser utilizado para construir hermosos, y a veces peligrosos, "hongos de sombrero".

A partir de este grupo aparece la *reproducción sexual*. Hasta ahora hemos visto que la reproducción típica -si bien no le habíamos puesto nombre- es la *asexual*, que se basa principalmente en la división celular y/o

la formación de esporas. Si bien en la mayoría de los hongos podemos encontrar este tipo de propagación -como vimos con las levaduras, que se multiplican por división-, también pueden reproducirse a partir de la formación de células reproductoras o *gametas*, las cuales vimos se producen a través del proceso de la *meiosis*, En los hongos el producto final de su reproducción son las esporas, por lo tanto podemos afirmar que existen esporas sexuales -en los hongos- y asexuales -en las bacterias.

Entre las especies más conocidas de hongos tenemos a las ya famosas levaduras, los *penicillium*, las *cándidas* -responsables de muchas infecciones orales y genitales en humanos- y las *trufas* -uno de los alimentos más caros y *gourmet* del planeta-, y por supuesto a la gran mayoría de los hongos de sombrero que conocemos.

En la próxima sección descubriremos a los organismos más evolucionados en cuanto a la complejidad celular, ya que son aquellos que generalmente poseen todos y cada uno de los componentes que fueron descritos en el capítulo anterior. Es a partir de las plantas y de los animales que las células van a adoptar todo tipo de formas y tamaños de acuerdo al trabajo que la naturaleza les ha asignado.

Los primos sean unidos

Uno de los mejores ejemplos de colaboración entre organismos de distintos grupos son los *líquenes*. Esta forma de vida está compuesta por un hongo -quién provee agua, minerales y una estructura resistente y protectora gracias a su micelio- y por un organismo fotosintético -generalmente un alga verde o *cianobacteria*-, el cual se integra dentro del "armazón" que ofrece el hongo. El alga, por medio de la fotosíntesis, suministra los azúcares que son utilizados por ambos integrantes de esta "cooperativa" como fuente de energía.

Eucariotas complejos: *plantas* y *animales*

Plantas

Las células de las plantas son bastante parecidas a las de los animales, con una serie de diferencias claves, como el hecho que además de mitocondrias poseen cloroplastos, suelen tener vacuolas de gran tamaño (ver recuadro **Almacén y sostén**) -que mantienen el tono o turgencia de los

tejidos-, como ya vimos están cubiertas por una pared celular formada principalmente por celulosa -las células vecinas se comunican por perforaciones en las paredes que las unen-, y poseen una mitosis con algunas características particulares.

En el aspecto que se relaciona con el tipo de células y los tejidos que estas forman, las plantas deben ser los organismos más ordenados que existen. En el fondo es bastante simple, ya que existen tres tipos básicos de células vegetales organizadas de diferentes maneras y que, con algunas variantes en sus formas, tamaños y colores, dan lugar a todos los *tejidos* que forman una planta hecha y derecha,.

Almacén y sostén

Un componente celular bastante característico de hongos y plantas y que no hemos visto en el capítulo tres es la *vacuola*. Reciben este nombre, bastante amplio en su aplicación de por cierto, grandes vesículas que pueden llegar a ocupar hasta el 80% del volumen de la célula que las contiene. Dependiendo donde se encuentren, sus funciones son muy variadas, pero en general pueden servir para aislar productos residuales que podrían llegar a ser tóxicos, también para almacenamiento de agua y/o nutrientes, y hasta para darle turgencia a las células, permitiendo el sostén de grandes estructuras, como ocurre con las hojas y los tallos.

Primero empecemos por lo que nos interesa, las células. Como se comentó en el párrafo anterior, las plantas se las arreglan bastante bien con tres tipos celulares básicos. El primero de ellos está muy relacionado con el sistema vascular de la planta –que veremos en detalle más adelante-, pero posee además otras múltiples funciones, como contener al complejo que realiza la fotosíntesis en las hojas, almacenar proteínas y azúcares en grandes vacuolas -son las células mayoritarias en las frutas-, mantener las reservas de agua y gases -esto último en plantas acuáticas que necesitan flotabilidad-, y reparar heridas en los tejidos.

El sostén de las plantas está a cargo de los otros dos grupos de células, El primero de ellos tiene sus paredes muy engrosadas, y sus integrantes son generalmente alargadas y forman "paquetes" compactos que le dan a la estructura final la rigidez necesaria para mantener a la planta bien firme, aunque también tienen la flexibilidad necesaria para permitir el crecimiento. El otro grupo de células de sostén es parecido al anterior, con la gran diferencia que generalmente están muertas y que poseen un

engrosamiento mayor de la pared gracias a la presencia de la *lignina* (del griego *lignus*=madera). Son las que le dan a las plantas una mayor protección ante las inclemencias del ambiente -viento, lluvia, predadores, bacterias-, ya que las estructuras que forman son altamente resistentes e impermeables, como es el caso de la corteza de los árboles.

Aparte del tejido de sostén de la planta existe también un tejido *epidérmico* ("arriba de la piel"), que es por lo general extremadamente delgado y está formado por células cubiertas por una *cutícula* compuesta de *ceras vegetales*, la cual sirve también para proteger a la planta, ya que cubren todo su cuerpo -tallo, raíz y hojas-.

Plantas con bocas y pelos

Dentro de las células epidérmicas existen algunas que han sufrido modificaciones debido a las funciones específicas que llevan a cabo: los *estomas* y los *tricomas*. Los estomas ("boca" en griego) están conformados por dos grandes células -que le dan el aspecto de dos grandes labios-, que al variar su volumen permiten abrir y cerrar el espacio entre ellas para habilitar o impedir el intercambio gaseoso con la atmósfera. Los tricomas ("crecimiento de pelo") son justamente estructuras que se asemejan a pelos y que sirven para varias tareas, como la protección y la absorción -los típicos "pelos" de las raíces-.

Así como nosotros tenemos un sistema vascular (del latín *vascellum*=vaso sanguíneo) que transporta nuestra sangre, las plantas también lo tienen para movilizar diferentes componentes a lo largo de toda su estructura. El floema ("corteza") es el encargado de transportar los productos elaborados a partir de la fotosíntesis –que se conocen como *savia elaborada*- hacia el resto de la planta, sobre todo a aquellas partes que no pueden producir su propio alimento, como las raíces. En cambio, el xilema ("madera") posee el importante papel de movilizar el agua y los nutrientes -la *savia bruta*- desde la raíz hacia el resto de la planta.

La división celular de las plantas, al ser eucariotas, se lleva a cabo a través de la mitosis, pero como se dijo más arriba posee unas pequeñas diferencias propias de las plantas, ya que la separación de las células hijas se ve dificultada por la presencia de la rígida pared celular que cubre a los citoplasmas vegetales. Para solucionar este problema, las plantas se las han ingeniado de una manera bastante particular.

Durante las últimas etapas de la mitosis se van acumulando membranas en la región media de la célula que se está dividiendo, las cuales son utilizadas para crear lo que se conoce como *placa celular*, la cual crece hasta hacer contacto con la pared, dividiendo así a la célula original en dos células hijas. Partes del retículo encargado de fabricar proteínas atraviesan los poros que se forman en esa placa celular, dando lugar a una estructura continua que permite la comunicación fluida entre las dos células que se originaron, una característica particular que solo poseen las células vegetales.

Ahora vamos a dar un gran salto evolutivo -o no tanto- y vamos a conocer a las células más estudiadas, más caracterizadas y más complejas que existen en la naturaleza, que son las células animales.

Animales

Para empezar, ¿qué diferencia a los animales -y a sus células- del resto? Por lo pronto sabemos que son eucariotas, que no pueden producir su propio alimento -a diferencia de las plantas y las algas-, que no poseen paredes que rodeen a sus células, y que además son móviles -o por lo menos lo son durante un período de su vida-.

Como en las plantas, en los animales las células también se agrupan formando tejidos. A su vez, múltiples tejidos pueden formar *órganos*, los cuales poseen funciones más complejas y variadas. Los tejidos básicos de los animales pueden dividirse en los cuatro grupos que veremos a continuación.

El tejido *conectivo*, tal cual su nombre lo indica, tiene como función básica "conectar", ya que se encarga del sostén y unión de los otros tejidos que forman a un individuo, y además les da forma y soporte a los órganos constituidos por esos mismos tejidos. La función del conectivo se ve apoyada gracias a sustancias que expulsan las células al exterior y que forman lo que se conoce como *matriz extracelular*. Ejemplos bien extremos de este tipo de tejido son los huesos y la sangre de nuestros cuerpos, en donde las "matrices" que los forman varían en sus componentes, dándole al primero extrema rigidez y al segundo una gran fluidez. También entran en este grupo el tejido *adiposo* -la grasa-, los tendones y los cartílagos.

El segundo tejido, el *epitelial*, es una gran barrera selectiva que protege a los organismos por fuera y también por dentro. No solamente da

lugar a la piel de los animales, sino que también -y aquí viene lo de la protección "por dentro"- recubre a los órganos internos, incluyendo intestinos, estómago, riñón, venas, arterias, vejiga, y al espacio que contiene a todos los órganos que se encuentran dentro del tórax y del abdomen.

El tejido epitelial puede tener una sola capa o varias. Dentro de los de una capa podemos encontrar cuatro tipos de tejidos que tienen que ver más que nada con la forma de las células que lo componen. Tenemos a los que constituyen los capilares sanguíneos y los alvéolos de los pulmones -todos en capas bien delgadas para permitir el intercambio del oxígeno con el dióxido de carbono-; aquellos que establecen a las glándulas salivales, los riñones y el páncreas -que permiten la secreción al medio externo de muchas proteínas útiles-; los que recubren las paredes del estómago y del intestino delgado –con alto poder de absorción-; y los tejidos típicos de las vías respiratorias -bronquios, tráquea, cavidad nasal-, que sirven para expulsar fuera del cuerpo cualquier objeto extraño que penetre por ellas.

Cuando el tejido epitelial forma varias capas, generalmente lo hace para proteger al individuo de agresiones externas. El caso más típico es el de nuestra piel, formada por numerosas capas de células epiteliales, en donde las más externas están muertas -pierden núcleo y citoplasma- y poseen grandes cantidades de una proteína muy resistente llamada *queratina*, la que hace que la piel sea por sobre todas las cosas impermeable al agua.

El tercer tejido característico de los animales es el *nervioso*. Tiene como función principal captar los diferentes estímulos que recibe un organismo, para luego analizarlos de manera de proveer una respuesta apropiada y coordinada en relación a los mismos.

El cerebro, la médula espinal y cada nervio de nuestro cuerpo están formados por tejido nervioso. Las células más importantes que lo componen son las *neuronas*, que se encargan de conducir los impulsos nerviosos, los cuales se encargan de transmitir información desde los órganos sensoriales que reciben los estímulos –localizados en la piel, los ojos, la lengua, el oído, las fosas nasales, etc.- hasta el *sistema nervioso central* -cerebro y médula espinal-. Las neuronas también tienen el trabajo de transportar la respuesta a esos estímulos desde el sistema nervioso central –que toma las decisiones- hasta los órganos que llevan a cabo la acción, como por ejemplo los músculos.

Una de las formas más típicas de las neuronas es la que recuerda a una especie de "estrella" con varias puntas, una de las cuales se prolonga a grandes distancias, como si fuera un largo y único "cable". Y lo de cable no es una exageración, ya que es por esas prolongaciones -que pueden llegar a medir un metro en el ser humano y hasta cinco en una jirafa- por los que viaja el impulso nervioso -en forma de electricidad- desde diferentes partes del cuerpo y a grandes velocidades. Nuestro cerebro posee aproximadamente cien mil millones de neuronas -un uno con once ceros detrás-, y cada una de ellas puede conectarse a su vez con otras mil a diez mil "colegas", ya sea tanto para recibir como para enviar información. De esta forma se calcula que el número de conexiones, solamente en el cerebro humano, llega a la friolera suma de cien billones, es decir ¡un uno con catorce ceros detrás!

El último tejido característico de los animales es el *muscular*, el cual se divide a su vez en tres tipos principales, cada uno de los cuales tiene células particulares con funciones exclusivas. Estos tipos de tejido muscular son conocidos como *músculo esquelético*, *liso* y *cardíaco*.

De músculos y ratones

El origen de la palabra "músculo" es bastante curioso. Parece que a los antiguos griegos, que eran muy observadores, les llamaba la atención el movimiento de los músculos de sus atletas durante los juegos, ya que para ellos se parecía mucho al desplazamiento de un ratón por debajo de la piel. Como la palabra ratón en griego es *mus*, llamaron al tejido *musculus*, que quiere decir "pequeño ratón", término que fue adoptado por los romanos en el latín, y que llegó a partir de ese idioma al nuestro y a muchos otros.

El primero, el *esquelético*, es el más abundante de todos y el único que podemos controlar voluntariamente. Es el que nos mantiene en posición erecta y el que nos da movimiento a través de su unión -mediante los *tendones*- con los huesos de nuestro cuerpo.

El *músculo liso*, a diferencia del esquelético, es involuntario, lo que significa que no se puede controlar en forma consciente. Las contracciones de estos músculos pueden ser largas y hasta permanentes, y son justamente las que permiten que muchos de los sistemas internos de los animales (ver recuadro **Máquina automática**) funcionen a la perfección sin que nos demos por enterados.

Por último tenemos al *músculo cardíaco*. Como su nombre lo indica, es específico del corazón, y justamente tiene la gran responsabilidad de

producir y regular los latidos del mismo para hacer circular la sangre por nuestro cuerpo, y al igual que el músculo liso, es también involuntario. Las células que forman este tejido son conocidas como *cardiocitos*, los cuales son capaces de seguir latiendo aun estando fuera del corazón.

Maquinaria automática
Aunque no nos demos cuenta, el músculo liso siempre está trabajando. Nuestros sistemas digestivo -esófago, estómago, intestinos-, excretor -vejiga y uretra-, reproductor femenino -útero, sobre todo durante el parto-, respiratorio -bronquios-, circulatorio -regulación de la presión arterial-, y hasta la "piel de gallina" -músculos que levantan los pelos de la piel-, funcionan de manera autónoma gracias a este tipo de tejido muscular.

Pues bien, hemos llegado al final de la descripción de las células que dan vida a los organismos que habitan a este planeta. En la última parte nos vamos a detener un poco en las características de algunas de las células más especializadas del cuerpo humano.

Un capítulo aparte: las células de nuestro cuerpo

Si bien a las células de los animales fueron divididas en cuatro grupos dependiendo de los tejidos de los que forman parte, está claro que existen muchos otros tipos dentro de esas categorías que pasaron a tener funciones muy especializadas, e inclusive en muchos casos su localización se limita a un pequeño sector y no a casi todo el cuerpo como pasa por ejemplo con los tejidos epitelial y el músculo esquelético.

Si nos basamos en aspecto, tamaño, función y otras características particulares de las células, podemos considerar que existen más de doscientos tipos celulares en el cuerpo de un ser humano adulto. Describiremos solo algunas de acuerdo a sus funciones principales.

Almacenamiento

¿Cómo puede ser que muchas veces nos salteamos alguna comida y a pesar de ello no nos desmayamos de hambre? Pues bien, para eso tenemos células cuya principal función es almacenar algunos materiales que pueden servir como fuente de energía en momentos de necesidad. Entre las más

conocidas están los *adipocitos* ("células grasas"), que guardan en su interior una inmensa gota de grasa, que es de un tamaño tan grande que deja al núcleo aplastado en un rincón. Cuando es necesario, esa grasa es utilizada como combustible por los músculos, el corazón y el hígado, en este último caso para producir azúcares.

Otro representante de los "almacenadores" es el *hepatocito*, que es una de las células típicas del hígado. Si hay una célula que trabaja sin parar y que elabora cientos de componentes diferentes, ese es el hepatocito. Se encarga de producir muchas proteínas para el resto del cuerpo, como por ejemplo algunos de los factores que permiten la coagulación sanguínea, y la *transferrina*, que se encarga de controlar el nivel del hierro en la sangre.

Secreción

Algunas células epiteliales tienen función *secretoria*. Esto quiere decir que este tipo de células son capaces de expulsar al medio externo componentes que se producen en su interior, ya sea para que puedan ser utilizados por otras células adyacentes, o para que viajen por el torrente sanguíneo a partes alejadas del cuerpo y así poder actuar sobre algún tipo de célula particular.

Fluidos y otras yerbas
Otras células que secretan diferentes sustancias en nuestro cuerpo son las de las glándulas salivales en la boca, las que producen las lágrimas en los ojos, la cera de los oídos, la próstata que produce el semen -al cual se unirán luego los espermatozoides-, las productoras del moco en la nariz, las gástricas -que producen el ácido en el estómago-, y las que secretan la leche en las glándulas mamarias.

Existe un gran número de células especializadas que por ejemplo secretan hormonas, las cuales son las responsables de regular un gran número de procesos que se llevan a cabo en nuestro cuerpo. En este grupo podemos encontrar a algunas células que forman parte del sistema digestivo -por ejemplo el páncreas que produce la *insulina*-, varias glándulas, como la tiroides en el cuello, y aquellas que se encuentran en los órganos reproductores y que producen las hormonas específicas para cada sexo.

Entre los procesos que son regulados por las hormonas tenemos al hambre, la sed, el sueño, la temperatura corporal, el crecimiento, la producción de leche en glándulas mamarias y la respuesta al estrés.

Cemento celular

Como se vio anteriormente al describir al primer tejido animal, el conectivo, muchas células secretan sustancias que forman lo que se conoce como *matriz extracelular*. En muchos casos, los componentes de esta matriz forman armazones de una dureza extrema, y es gracias a ello que podemos disfrutar de estructuras muy sólidas en nuestros cuerpos. Los *osteoblastos* son células que secretan una proteína muy resistente llamada *colágeno*, la cual combinada con algunos minerales -como el calcio y el magnesio- dan lugar a nuestros huesos. La combinación de mismo colágeno con azúcares da lugar al tejido *cartilaginoso*, que abunda en las uniones entre los huesos y le da forma a nuestra nariz y orejas. Y si se mezclan otras proteínas diferentes al colágeno pero con los mismos minerales que componen al hueso, lo que se obtiene es el fuerte esmalte que recubre nuestros dientes.

Sangre y sistema inmune

A partir de un tipo celular común que se localiza en la *médula ósea* –el "caracú" de los huesos- se origina la gran variedad de células que pueblan nuestra sangre, entre ellas los *glóbulos rojos* -que transportan el oxígeno y carecen de núcleo- y los *glóbulos blancos* o *leucocitos* -que forman parte del *sistema inmune*-.

A su vez, los glóbulos blancos poseen una gran variedad de formas y funciones, y son una de las grandes barreras defensivas que posee nuestro cuerpo para protegerse de ataques externos -virus, bacterias, hongos y parásitos- e internos -tumores-, pudiendo destacar entre este grupo de células a los *linfocitos*, un ejército de eficientes soldados que son indispensables a la hora de una defensa coordinada, eficiente y permanente en el tiempo (ver recuadro **Línea de defensa**). Otros grupos de glóbulos blancos son capaces de liberar sustancias tóxicas que sirven para matar parásitos, también

participan en las reacciones inflamatorias relacionadas con las alergias, o se encargan de comerse toda la "basura" que queda dispersa en una herida luego de que una infección ha sido eliminada con éxito.

Línea de defensa
Existen dos tipos principales de *linfocitos*, los llamados *células B*, que son las encargadas de producir anticuerpos contra amenazas externas, y los denominados *linfocitos T*, que a su vez se dividen en "escuadrones" especializados con funciones tan variadas como dirigir y activar a otras células inmunes, matar tumores y células infectadas con virus, o recordar infecciones anteriores –es el caso de los *linfocitos T de memoria*- para poder responder más rápido en caso que el invasor tenga la osadía de atacar de nuevo.

Sensoriales

Mucho se ha hablado acerca de los cinco sentidos que poseemos, y por algo se los considera tan especiales. Algo tan delicado y complejo como la vista, el olfato, el gusto, el oído y el tacto no podía dejar de tener células características para cada caso.

La visión posee dos de los tipos celulares más especializados que existen. Estas células son *fotoreceptoras* -es decir que captan la luz-, y a partir de ellas se inicia una serie de impulsos nerviosos que dan lugar a la formación de las imágenes en nuestro cerebro. El primer tipo celular es conocido como *bastones*, células extremadamente sensibles a la luz, por lo cual tienen un papel muy importante en la visión nocturna. Los bastones se localizan en los bordes externos de la retina -al fondo del ojo-, lo que les otorga también un rol central en la visión periférica. El otro tipo celular que participa de este sentido son los *conos*. Estos se encuentran en la región central de la retina y son menos sensibles a la luz que los bastones, encargándose principalmente de la visión del color.

Para que no se nos canse la vista, pasemos brevemente al olfato. En el *epitelio olfatorio* -bien al fondo de nuestras narices- existen neuronas que poseen receptores en su superficie que son capaces de reconocer hasta diez mil diferentes moléculas, las cuales corresponden a los diversos olores que nos rodean. Estas moléculas se disuelven en el moco que cubre al epitelio, y de esta manera toman contacto con los receptores, iniciándose así una señal cuyo producto final -el reconocimiento del olor- dependerá de la

combinación de receptores que se hayan activado, ya que los olores generalmente están formados por más de una molécula.

Antes que esto tome mal olor, pasemos al gusto. En la lengua poseemos estructuras que se conocen como *papilas gustativas*. En ellas se localizan los receptores que son capaces de reconocer a los cinco elementos básicos que conforman la percepción del gusto: dulce, salado, amargo, ácido y *umami* (ver recuadro **El quinto elemento**)

El quinto elemento

A muchos podría llamarles la atención que exista un sabor llamado *umami*, pero desde 1985 fue aceptado como una variedad diferente al famoso "cuarteto" de la degustación. Este gusto lo podemos encontrar en aquellos productos que poseen un aminoácido -recordemos que son los bloques que componen a las proteínas- conocido como *glutamato*. Pero con ello solo no alcanza, sino que también deben estar presentes en la composición de estos alimentos los *ribonucleótidos*, que son las unidades esenciales que se utilizan para producir los mensajeros que codifican a las proteínas.

El nombre de este sabor no proviene ni del griego ni del latín, sino del japonés, y quiere decir algo así como "sabroso de gusto agradable".

¿Y qué alimentos poseen este sabor? Generalmente se lo puede encontrar en carnes -pescado, mariscos y carnes curadas en sal-, vegetales -tomates maduros y apio-, hongos y productos fermentados –quesos y salsa de soja-.

Una vez que los componentes del alimento disueltos en la saliva toman contacto con su correspondiente receptor, se producen las señales nerviosas que le indican a nuestro cerebro el sabor de la comida. Por supuesto que todo esto se da en combinación con los receptores olfatorios que vimos antes, para de esta manera dar una mayor dimensión a la experiencia de comer, a través de la combinación de los gustos y los aromas que le proporcionan sus características particulares a cada comida.

Para no quedarnos con un mal sabor en la boca, sigamos con el oído. Hasta ahora hemos lidiado con señales conocidas, ya sean moléculas de luz o componentes químicos –como los que forman parte de los aromas y del sabor-, pero ¿cómo transformar el sonido en una señal que reconozca nuestro cerebro? Pues bien, la naturaleza es sabia y se las ingenió bastante bien para hacerlo. Dentro del oído interno existen estructuras celulares muy pequeñas que vibran cuando les llega un sonido, lo cual activa directamente a un grupo de

neuronas asociadas que llevarán esa señal al cerebro. Estas células poseen diferente sensibilidad a las diversas frecuencias que reciben, lo que hace que respondan de manera muy variada a los sonidos que les llegan, permitiéndonos captar leves susurros, reconocer una voz entre muchas, o inclusive diferenciar notas individuales en una sinfonía.

Finalmente, y antes de quedarnos sordos, llegamos al último de los sentidos, el tacto. La mayoría de los receptores que forman parte de este sentido están en la superficie de la piel, pero también se los puede encontrar asociados a varios órganos de nuestro cuerpo. Entre ellos tenemos a los *mecanoreceptores*, que en sus muchas variantes son capaces de detectar desde un simple roce, hasta presión, estiramiento y vibraciones en la piel. También pueden detectar por separado el calor o el frío, y son los que nos informan de la posición de cada parte de nuestro cuerpo y, junto con otros sentidos, nos demuestran la profundidad y el contorno de las cosas que nos rodean, como ocurre cuando metemos una mano en un bolsillo o una cartera y detectamos cada elemento que contienen sin necesidad de verlo.

Cuando los estímulos pasan a ser extremos -presión excesiva, calor o frío intenso, sustancias químicas penetrantes, como las de algunas especias picantes-, los que se activan son los *receptores del dolor*. Estos receptores cumplen la función de proteger al cuerpo, ya que el dolor es una señal que sirve para darnos cuenta que algo nos está afectando y que de ser posible debemos alejarnos de su influencia nociva. Todos estos receptores, al ser estimulados, producen señales que viajan a través de las neuronas del sistema nervioso para dar lugar a una respuesta, que va a depender tanto del estímulo como del receptor que ha sido activado. Está claro que no se reacciona igual a una caricia que a un pinchazo, o al calor de una frazada en invierno que a la llama de un fósforo directamente sobre nuestros dedos.

EPÍLOGO

Hemos llegado al final de este libro, esperando que ahora conozcan aunque sea un poco más sobre la maravillosa célula. Numerosas cosas han quedado en el tintero, pero muchas veces hay que saber elegir prioridades porque el espacio es limitado, y la paciencia del lector también lo es.

En el prólogo se menciona una frase en relación a la célula: "…las hace funcionar de una manera cercana a la perfección." Justamente, pareciera que las células que hemos descrito en este libro, desde la más sencilla hasta la más compleja, funcionan perfectamente, como un mecanismo de reloj suizo. Por lo general eso ocurre así, pero como se imaginarán, muchas veces dentro de los millones de células que posee un individuo -sobre todo los muy complejos como los seres humanos-, es probable que una sola -y pueden estar seguros que con eso basta- comience a fallar, y que ello pueda conducir al colapso del organismo entero.

Haría falta otro libro así de gordo para describir lo que ocurre cuando las células se equivocan o vienen falladas de fábrica, y las consecuencias que ello puede traer. La mayor parte de los errores ocurren a nivel de la información, como puede suceder con una computadora que ante la falla de su sistema operativo o de la existencia de algún programa erróneo deja de funcionar. En el caso de las células es aun mucho más complejo, porque esa misma información -que no es otra cosa que la que acarrea el ADN de nuestros genes-, es la que se necesita no solo para que la computadora -en este caso nuestro cuerpo- funcione correctamente, sino también para fabricarla, para que se desarrolle normalmente y para que crezca sin problemas.

Los errores en el ADN pueden aparecer por diferentes motivos, y la mayoría de las veces la misma célula los corrige, pero otras pasan desapercibidos o son irreparables. Aquellos que pasan desapercibidos -¿se acuerdan del color de las flores de Mendel que aparecían recién en la segunda generación?-, muchas veces se transmiten de forma "silenciosa" de generación en generación, hasta que la combinación adecuada ocurre para que se den a la luz. Un gran número de estos errores forman parte de lo que se conoce como enfermedades hereditarias, que en algunos casos son más visibles -y por ende previsibles-, pero que en otros se mantienen ocultas por muchos años.

Afortunadamente, cada día se va ampliando cada vez más el conocimiento acerca de los errores genéticos, lo que ha permitido en muchos casos detectar -mediante modernas técnicas de lectura del ADN- si algún gen ya viene fallado de fábrica y si existen posibilidades de transmitirlo a la descendencia. La lista de estas enfermedades es enorme, aunque afortunadamente en muchas de ellas la incidencia es muy baja. La hemofilia, las distrofias musculares, la fibrosis quística y la anemia falciforme son algunos de los ejemplos más conocidos de estas enfermedades.

También tenemos otros casos de fallas de programación, en donde una o unas pocas células comienzan a crecer descontroladamente produciendo daños irreparables -como es el caso de la mayoría de los cánceres-, o cuando se producen anomalías en las divisiones celulares, lo que da lugar a que el número de cromosomas sea diferente al normal. Un ejemplo de este último caso es el síndrome de Down, en donde un error en la primera división de la formación de las células reproductoras -la meiosis- conduce a que el individuo resultante tenga tres pares de cromosomas veintiuno en lugar de los dos que naturalmente existen.

Y estos últimos puntos nos llevan irremediablemente a otro tema que compete a las células y que no pudo ser abordado: la bioética, que no es otra cosa que la aplicación de la ética a las ciencias de la vida. ¿Hasta qué punto es ético conocer de antemano si dos padres tienen posibilidades de engendrar un hijo con alguna enfermedad hereditaria? De poseer esa información, ¿será posible en el futuro "reparar" los errores del ADN a nivel celular para que el embrión crezca normalmente y dé lugar a un individuo sano -lo que se conoce como terapia génica-? ¿Cuán peligroso será que esa información caiga en manos de terceros, para ser utilizada en contra del individuo que porta esos genes "defectuosos"? ¿Será posible -y ético- "diseñar" a un individuo en base al gusto o preferencia de los padres?

Sin dudas, los conocimientos que se van adquiriendo en cuanto a la información genética humana hacen surgir estos y muchos más interrogantes, y muchos de ellos aun no han encontrado respuesta o todavía suenan a ciencia ficción. Pero otros ya están siendo respondidos en la actualidad, como ocurre con la selección de embriones que poseen determinadas características deseadas, como el color de ojos o el sexo del bebé. El primer caso, el color de ojos, podría circunscribirse a lo que sería una simple cuestión de estética, pero el segundo podría servir para salvar vidas, ya que muchas enfermedades

hereditarias están directamente ligadas al sexo -se expresan en uno o en el otro-, por lo tanto esta selección de embriones permitiría que solamente se desarrolle aquel sexo que se sabe no expresará la enfermedad. Pero crear un embrión con las características deseadas implica que en el proceso –que es bastante azaroso- se produzcan otros que no las tengan. Puedo querer tener flores blancas de arveja en el jardín, pero para ello también tienen que aparecer flores rojas. Por lo tanto estos métodos selectivos implican la creación de un grupo de embriones que no van a llegar a término, y cuyo destino más probable sea su eliminación, y ese es uno de los grandes problema éticos que aun no se han solucionado, ya que todavía nadie se ha puesto de acuerdo en qué momento del desarrollo se considera a un grupo de células un ser vivo.

La ciencia está avanzando muy rápido, pero la bioética está aun en pañales y necesita madurar a una velocidad similar, lo cual es un objetivo muy difícil, ya que la ciencia sigue un camino recto y en ascenso, con muy pocos obstáculos, mientras que los asuntos éticos de este tipo requieren del consenso de todos los seres humanos, y ya sabemos que aun al grado de civilización del que gozamos hoy en día -lo cual como vimos le debemos en gran parte a las levaduras-, lograr este tipo de acuerdos globales sigue siendo una tarea titánica.

Pues bien, llegamos al final. Es de esperar que el viaje que iniciamos no haya sido muy complicado o aburrido. Las células aparecieron hace millones de años para quedarse. Las necesitamos y nos necesitan. Forman parte de nosotros y somos nosotros gracias a ellas. Por eso siempre es bueno conocer de qué estamos hechos, para poder apreciarlo mejor, y de paso cuidarlo un poco más.

Por todo eso y mucho más, amerita enunciar una frase final: ¡gracias a la célula, que nos ha dado tanto!

Bibliografía

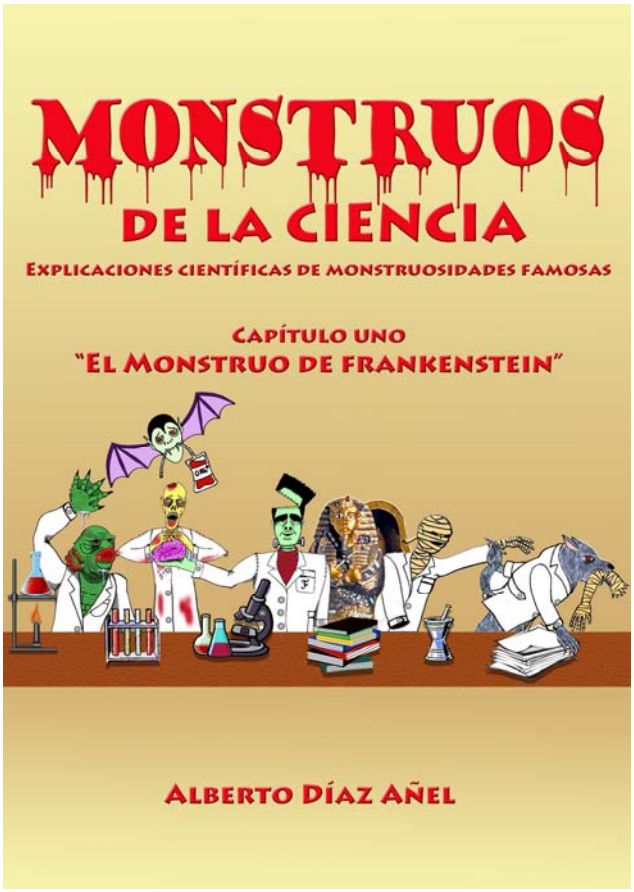
- de Kruif, P. Microbe Hunters (Cazadores de microbios). Houghton Mifflin Harcourt (Ed.), Boston, MA, EE.UU. (2002) 384 páginas. ISBN: 9780156027779.
- Diccionario de la Real Academia Española, vigésima segunda edición (2010) ISBN: 978-8423968145.
- Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.H., Stackebrandt, E., y Dworkin, M. The Prokaryotes (Los Procariotas). Springer (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2006). 1200 páginas. ISBN: 9780387254937.
- Glimn-Lacy, J. y Kaufman, P.B. Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families (Botánica ilustrada: introducción a las Plantas, grupos mayores y familias de Plantas con flores). Springer (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2006). 292 páginas. ISBN: 9780387288703.
- Hickman, C.. Integrated Principles of Zoology (Principios integrados de Zoología). McGraw-Hill (Ed.), Columbus, OH, EE.UU. (2010). 896 páginas. ISBN: 9780071221986.
- Koppmann, M. Manual de gastronomía molecular: el encuentro entre la ciencia y la cocina. Siglo XXI (Ed.), Buenos Aires, Argentina. (2011). 221 páginas. ISBN: 9789876291958.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C.A., Krieger, M., Scott, M.P., Bretscher, A., Ploegh, H., y Matsudaira, P. Molecular Cell Biology (Biología celular y molecular). W. H. Freeman (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2007). 1150 páginas. ISBN: 9780716776017.
- Mawer, S. Gregor Mendel: Planting the Seeds of Genetics (Gregor Mendel: sembrando las semillas de la genética). Harry N. Abrams (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2006). 176 páginas. ISBN: 9780810957480.

- McGee, H. La cocina y los alimentos. Debate (Ed.), Madrid, España. 944 páginas. (2007). ISBN: 9788483067444.
- Pollard, T.D., Earnshaw, W.C., y Lippincott-Schwartz, J. Cell Biology (Biología celular). Saunders (Ed.), Philadelphia, PA, EE.UU. (2007). 928 páginas. ISBN: 9781416022558.
- Protz, R. The Complete Guide to World Beer (La guía completa del mundo de la cerveza). Carlton Books (Ed.), Londres, Reino Unido. (2004). 240 páginas. ISBN: 9781844428656.
- Serafini, A. The Epic History Of Biology (La historia épica de la Biología). Basic Books (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2001). 408 páginas. ISBN: 9780738205779.
- Tannahill, R. Food in History (La comida en la historia). Broadway (Ed.), New York, NY, EE.UU. (1995). 448 páginas. ISBN: 9780517884041.

Anexo 2

Libro “Ciencia monstruosa: explicaciones científicas de monstruosidades famosas. Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein”

Formato libro estándar de 150 x 210 mm, letra Times New Roman tamaño 10, con cubierta ilustrada, índice y bibliografía.



Índice

Prólogo 3

Capítulo 1: El monstruo de Frankenstein 6
- Un poco de historia 6
- Electricidad y sistema nervioso 10
  - *¡Está vivo!: la "electricidad animal"* 10
  - *Cableado interno: las neuronas* 12
  - *Moviendo las cargas para mover el cuerpo* 13
  - *Genios, imitadores y modelos de inspiración* 15
  - *Copiando a Víctor* 16
- Cómo armar un cuerpo y no ser rechazado: el sistema inmune 18
  - *Armando el rompecabezas* 18
  - *La (moderna) historia de los trasplantes* 19
  - *Reconociendo al invasor* 20
  - *Destruyendo al enemigo* 21
  - *La importancia de la superficialidad* 22
  - *Complejos para una complejidad complicada* 23
  - *Muy lindo todo, pero ¿y los trasplantes?* 25
  - *Donde hay vida, hay esperanza* 26
  - *Entonces el monstruo ¿es posible?* 27

Bibliografía 28

Capítulo 2: El Conde Drácula
- Un poco de historia
- La sangre tira: mutaciones y anemias
- Oscuridad, cámara y ¡acción!: visión nocturna y foto sensibilidad
- Bibliografía

Capítulo 3: El Hombre Lobo
- Un poco de historia
- Combatiendo la caspa: *hipertricosis* o los verdaderos *licántropos*

- Algo para morder: infecciones por microorganismos y contagio de enfermedades
- Bibliografía

Capítulo 4: La Momia
- Un poco de historia
- Envuelto para regalo: principios de la conservación de los tejidos
- Corazón sensible o cerebro calculador: órganos importantes de ayer y de hoy
- Bibliografía

Capítulo 5: La Criatura de la Laguna Negra
- Un poco de historia
- Como pez en el agua: *ictiosis* o cuando las células se descontrolan
- Parecidos y diferentes: la etapa "anfibia" del desarrollo del feto humano
- Bibliografía

Capítulo 6: Los Zombis
- Un poco de historia
- El Vudú y sus costumbres: el efecto de las drogas alucinógenas
- Enterrado vivo: catalepsia y enfermedades mentales
- Bibliografía

Epílogo

Prólogo

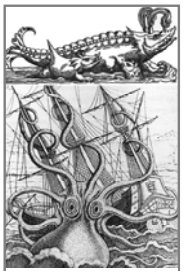
Es extraña la fascinación que producen los monstruos en nosotros. Los relatos y las representaciones artísticas que los describen provienen de tiempos inmemoriales, sobre todo de aquellas épocas donde pocas cosas podían explicarse "científicamente", y el desconocimiento era reemplazado por una alta dosis de fantasía.

Y a pesar de todo, en pleno siglo XXI, con los avances científicos y tecnológicos que parecen ser capaces de descubrir e interpretar todo lo que pasa en mundos que ni siquiera podemos ver con nuestros propios ojos – desde un átomo hasta enormes galaxias –, ellos siguen existiendo y nos siguen atrayendo. Quizás sea porque la imaginación humana no podrá nunca ser reemplazada por poderosos microscopios o gigantescos telescopios espaciales, o porque ellos representan nuestros miedos más profundos, aquellos que ninguna ciencia todavía ha podido explicar, o simplemente porque sin los monstruos no podríamos vivir, todo sería más aburrido, nadie podría hacernos saltar de nuestra butaca en el cine, o conducirnos a una noche de insomnio atentos a cualquier ruido que pudiera indicar su presencia en nuestra habitación.

Izquierda: *Rinoceronte*, grabado en madera, Hans Burgkmair, 1515; derecha: *Blemia*, ilustración del libro *Descubrimiento de Guyana*, Sir Walter Raleigh, 1603

La mitología de varias culturas de nuestro pasado se pobló de monstruos, los cuales por lo general eran un problema muy difícil de erradicar para la humanidad, ya que poseían poderes sobrehumanos que impedían eliminarlos porque, dicho sea de paso, la mayoría de las veces les gustaba destruir y matar por el simple hecho de hacerlo, y eso no era bueno para la población. En todos los casos había dos caminos a seguir, o la aparición de algún héroe con poderes iguales o mayores al monstruo – que generalmente no era tan "despierto" como el héroe -, o aprender a convivir con el ser sobrenatural dándole algún que otro "gustito" de vez en cuando (llámese a esto sacrificios humanos o de otra índole).

Ni que hablar de lo que ocurrió cuando las primeras expediciones encontraban "nuevos mundos". En algunos casos podría buscarse alguna explicación lógica a los temores que surgían, como cuando un europeo veía por primera vez un ser tan aterrador como un rinoceronte, que aparte de raro era bastante agresivo, como se esperaría de un monstruo que se digne de serlo. Pero en otros casos la imaginación llegaba a límites inexplicables, como la descripción de hombres sin cabeza y con ojos, nariz y boca en su torso (los *Blemias*). Esto podría explicarse de dos maneras. Por un lado la ventaja que significaban las grandes distancias que separaban al "monstruo" de aquellos que solamente contemplaban las ilustraciones del mismo, quienes muchas veces eran los que financiaban la expedición – y por ende invertirían más dinero para que sus conquistadores se defendieran ante tan extrañas y peligrosas "bestias" -. Por el otro lado, existía una alta probabilidad que quién describía a estas criaturas estuviera bajo el influjo de alguna bebida o comida con altos poderes alucinógenos que les hubieran ofrecido los locales.



Arriba: *Ballena*, ilustración del libro *Icones Animalium*, Conrad Gesner, 1560; abajo: *Calamar gigante*, ilustración del libro *Historia Natural de los Moluscos*, Pierre Denys de Montfort, 1802

Otro clásico de las mencionadas expediciones de conquista eran los monstruos marinos. Cientos de mapas de la época exhibían imágenes de criaturas gigantescas y de aspecto peligroso, que eran avistadas en las largas travesías entre los diferentes continentes. Muchas de ellas aun existen y las llamamos, por ejemplo, ballenas y calamares gigantes. Obviamente que hoy sabemos que no son monstruos, pero en esa época se tomaban algunas libertades en las ilustraciones, generando verdadero temor de navegar, con ballenas portadoras de grandes dientes – que dicho sea de paso, no tienen -, y calamares que abrazaban con sus tentáculos a las embarcaciones hasta hundirlas, algo que aparentemente jamás ocurrió. Es más, si hay un animal que es esquivo para mostrarse en vivo y en directo, es justamente el calamar gigante.

Pero los monstruos más famosos, sobre todo en la actualidad, han llegado de la mano de la literatura, y más tarde del cine. Muchos de ellos surgieron de antiguas leyendas y otros directamente de la imaginación de grandes novelistas o guionistas. La industria fílmica, sobre todo la de Hollywood, se ha encargado en las últimas décadas de inmortalizar en celuloide a famosos monstruos de novela, y de crear otros que directamente no han salido de obras literarias famosas.

En este libro se ha hecho una selección de los seis monstruos más célebres de las últimas épocas, aquellos que nunca pasan de moda y que en su mayoría son reconocidos por varias generaciones. Y ellos nos servirán de excusa para explicar algunos conceptos científicos que de alguna forma están asociados a esos monstruos. Sí, porque no todo es simple imaginación, de una manera u otra lo que los hace distinguibles de nosotros muchas veces puede tener alguna explicación científica. De cualquier manera, es bueno aclarar nuevamente que emplearemos a los monstruos como pretexto para enseñar un poco de ciencia, ya que de ninguna manera lo que revele este libro va a quitarles su especial encanto. Es más, quizás sirva para que los podamos comprender mejor y así darnos cuenta de que en el fondo no son tan "monstruosos" como parecen.

Sin más preámbulo, esperamos que disfruten este libro, que puedan aprender algo de ciencia y a la vez divertirse y, por qué no, asustarse un poco.

Capítulo 1
El monstruo de Frankenstein

Un poco de historia

Quizás, junto con el Conde Drácula y el Hombre Lobo, el monstruo creado por el doctor Víctor Frankenstein sea uno de los más famosos de la historia moderna. Muchas películas lo han tenido de protagonista, a veces solo, otras veces junto con sus compañeros de podio, y más de una vez inmerso en historias que poco tenían que ver con sus verdaderos orígenes.

Este monstruo comparte una cualidad especial con otros de los que aparecerán en este libro, y es el hecho de que en realidad es una persona sin vida, que de una forma u otra es resucitada. Los otros casos son el Conde Drácula, un ser cuyo corazón no late y que está condenado a una vida eterna, la Momia, otro cuerpo sin vida buscando vengarse de quienes profanaron su tumba, y los Zombies, muertos resucitados quienes se arrastran de un lado a otro en busca de un cerebro fresco que los alimente.

Ilustración original de *Frankenstein o el Prometeo moderno*, de la edición de 1831

Si bien la criatura creada por Frankenstein tiene ese punto en común con sus compañeros de libro, hay algo que lo diferencia de ellos: su cuerpo proviene de partes de otros, y eso lo hace muy especial, particularmente desde el punto de vista de la ciencia. Y es justamente un científico, Víctor Frankenstein, el que lleva a cabo semejante logro, sobre todo en una época en que poco y nada se sabía de trasplantes y de la electricidad que corre por nuestro cuerpo. Pero no nos adelantemos, y veamos un poco

cómo surgió el concepto de un "científico loco" que crea un nuevo ser a partir de restos humanos y de otras cosas que ni se imaginan.

Pero vamos al grano, ¿cómo nació entonces la historia del monstruo de Frankenstein? Cuenta la leyenda que en el verano de 1816, la escritora británica Mary Shelley (1797-1851) se encontraba junto a su esposo, el poeta y filósofo Percy Shelley (1792-1822), disfrutando de unas plácidas vacaciones a orillas del Lago de Ginebra, en la frontera entre Francia y Suiza. Es allí donde la pareja compartía largas noches de tertulia con algunos de sus amigos, entre ellos el famoso poeta inglés Lord Byron (1788-1824). Al parecer, la persistente lluvia de principios de la temporada estival los mantenía por interminables horas dentro de sus lujosas villas, por lo cual se entretenían, especialmente por la noche, leyéndose unos a otros historias fantasmagóricas de un libro alemán traducido al francés. Fue así que, víctima de su aburrimiento e incitado por los cuentos relatados, Lord Byron retó a cada uno de sus huéspedes a que escribiera una historia de terror, para ver quién era capaz de provocar la mayor dosis de espanto en el resto de los invitados.

El "monstruo de Frankenstein" egipcio

La idea de la resurrección del cuerpo no se remite al monstruo que nos ocupa en este capítulo, sino que es tan antigua como la civilización humana. Quizás el caso más parecido al del monstruo de Frankenstein sea el de una leyenda egipcia muy antigua, de hace más de tres mil años. Esta leyenda cuenta que Osiris, gobernante de Egipto por esas épocas, fue asesinado por su celoso hermano Seth, quien lo reemplazó de esta manera en el trono. Para evitar que la esposa de Osiris, llamada Isis, encontrara su cuerpo, Seth lo despedazó en decenas de fragmentos, los cuales repartió por todo el reino egipcio. Pero Isis, devota esposa, con mucha paciencia recorrió grandes distancias recogiendo cada una de las partes del cuerpo de su marido, lo volvió a reconstruir y con su aliento lo retornó a la vida. Esta resurrección de Osiris no fue muy duradera, pero alcanzó para que Isis pudiera engendrar al hijo de ambos, Horus, quien finalmente se encargó de vengar la muerte de su padre, recuperando el trono de Egipto luego de matar al hasta ese momento impune asesino, Seth.

Mary, que por ese entonces todavía no había cumplido dieciocho años, parecía no haberse contagiado de la inspiración de los otros, ya que cada uno de ellos proponía, con el pasar de los días, historias cada vez más terroríficas. Fue en una de esas tantas jornadas grises, que dos sucesos de la

vida de Mary se amalgamaron para dar lugar a una de las novelas más horripilantes de la literatura de terror. Uno de ellos tuvo que ver con un sueño que la escritora había tenido el año anterior, cuando había perdido a su primer hijo. En él, soñaba que su bebé volvía a la vida, que solamente tenía frio y que al frotarlo cerca del fuego recuperaba su calor vital. El otro suceso estaba relacionado con una de las tantas conversaciones que se llevaban a cabo en la mansión de Lord Byron, cuando los huéspedes discutían los trabajos de Erasmus Darwin (1731-1802) -abuelo del padre de la Teoría de la Evolución, Charles Darwin (1809-1882)-, un médico que entre otras cosas investigaba el fenómeno del *galvanismo*, nombre con el que se conocía a la contracción muscular estimulada por corrientes eléctricas, particularmente en organismos muertos o en partes del cuerpo de los mismos. Estos dos acontecimientos, el deseo de volver a la vida a su hijo y la posibilidad de "resucitar" cadáveres con electricidad, fueron el puntapié inicial de la historia que Mary Shelley comenzó a delinear, mientras el resto de los invitados disfrutaban de un día de navegación en el lago. Fue tal el impacto que causó entre todos el relato, que el esposo de Mary la convenció para que la convirtiera en una novela, la cual fue publicada dos años después, en 1818.

Mitos de creación

El título original de la novela, "Frankenstein o el moderno Prometeo", hace alusión por un lado al protagonista, el joven prototipo de científico Víctor Frankenstein, y por el otro alude a uno de los Titanes de la mitología griega, Prometeo, quien fuera el encargado de crear a la raza humana a partir de figuras de arcilla, y con quien Mary Shelley quiso representar la creación de la vida a partir de la materia inanimada. Aquí también entran a jugar otros simbolismos, como el del fuego, con el cual Prometeo les otorgó vida a sus modelos de arcilla, y el que también le permitió recuperar su aliento vital al hijo de Mary en su sueño. Ese es el mismo fuego que Prometeo robó para concedérselo a los humanos por él creados, acción por la cual fue castigado por el dios Zeus, quien lo condenó a una eternidad encadenado a una roca, donde un águila todos los días le devoraba partes de su hígado, el cual se regeneraba para iniciar la tortura nuevamente. Es interesante destacar que el hígado es uno de los pocos órganos que puede repararse a sí mismo, por lo tanto el mito de Prometeo no haría más que confirmar que los antiguos griegos ya conocían este proceso de regeneración.

La historia es protagonizada por un estudiante universitario llamado Víctor Frankenstein, el cual estaba obsesionado con lo que se conocía como el "principio de la vida". Una vez avanzados sus estudios en varias áreas de la ciencia, decidió dedicarse durante años a investigaciones que le permitieran comprender cuál era y dónde se encontraba la esencia que nos hace seres vivos. Fue a partir de sus observaciones que comenzó a ensamblar un cuerpo humano con partes que obtenía ilegalmente de mesas de disección o mataderos (ya veremos esto con más detalle), buscando crear al ser perfecto. Sus conocimientos sobre el galvanismo le permitieron infundirle vida a su obra, supuestamente a través de grandes descargas eléctricas, pero una vez que se encontró frente al resultado final, un ser horrible, imperfecto y sufriente, huyó despavorido dejando a la bestia a su libre albedrío. El monstruo sin nombre juró vengarse de su creador, ya que en todos lados a los que se dirigía era rechazado y atacado debido a su terrible y atemorizante aspecto, iniciándose así una serie de asesinatos, falsas acusaciones e interminables persecuciones. El mismo monstruo obliga a Frankenstein a crearle una pareja para no sentirse tan solo en este mundo, pero el científico, acosado por su conciencia, frustra el proyecto cuando casi estaba terminado, aumentando la ira de su creación original, que se desquita asesinando a la esposa de Víctor durante su noche de bodas. Ese episodio es el que finalmente convence a Frankenstein que debe destruir al monstruo, iniciando así una larga persecución que finaliza en el Polo Norte, donde Víctor fallece y la criatura decide terminar con su vida al encontrarse muerto aquel quien causara su desdicha.

Luego de describir el contenido de la novela -de lectura altamente recomendada-, y a los efectos del objetivo principal de este libro, cabe hacerse algunas preguntas en relación a la trama central de la historia. ¿Es posible resucitar un cuerpo inanimado a través de descargas eléctricas?, ¿Cuán probable es ensamblar un cuerpo con partes provenientes de diferentes individuos y que el mismo pueda funcionar sin problemas? Pues bien, en las siguientes secciones intentaremos responder científicamente a estas preguntas.

Electricidad y sistema nervioso

¡Está vivo!: la "electricidad animal"

El famoso grito que profiere Víctor Frankenstein cuando su criatura mueve la mano nunca aparece en la novela original. El "¡está vivo!" fue una de las tantas creaciones de Hollywood para su película "Frankenstein, el hombre que creó un monstruo", del año 1931, protagonizada por el célebre actor del género de terror Boris Karloff, quien personificó a la criatura en varios films.

Tampoco hay indicios en el libro de Mary Shelley acerca de la existencia de una parafernalia de instrumentos científicos, arcos eléctricos y tormentas de rayos, tal como suele verse en las películas protagonizadas por el monstruo de Frankenstein, sino que muchos de esos elementos son simplemente sugeridos a lo largo de la historia Una pista la da el célebre fragmento con que comienza el relato original que luego se convertiría en el quinto capítulo de la novela, y que dice: "Una lúgubre noche de noviembre vi coronados mis esfuerzos. Con una ansiedad casi rayana en la agonía, reuní a mi alrededor los instrumentos capaces de infundir la chispa vital al ser inerte que yacía ante mí". Esa chispa no era otra cosa que la electricidad "reanimadora" que describiera Luigi Galvani (1737-1798), más conocida como *galvanismo*. La idea más elaborada de los relámpagos como proveedores de esa chispa, probablemente provenía de la adolescencia de Víctor Frankenstein, cuando había nacido su admiración por el poder que estas descargas eléctricas exhibían en la naturaleza.

A pesar del paso del tiempo -más de doscientos años- el estudio de los efectos *galvánicos*, también conocidos como *electricidad animal*, aun existe, pero ahora se lo conoce con el nombre de *electrofisiología*, que se define como "el estudio de las propiedades (o naturaleza) eléctricas de las células y los tejidos biológicos".

Pero entonces, ¿existen realmente fenómenos eléctricos en los animales y en nosotros? Sin ninguna duda, y gracias a la electrofisiología hoy podemos describirlos hasta con el más mínimo detalle. Si bien esta ciencia abarca un gran número de fenómenos –desde la regulación de los latidos del corazón hasta la medición de la actividad cerebral-, nos vamos a centrar en el origen de las señales eléctricas de nuestro cuerpo, adentrándonos a niveles microscópicos, observando cómo pequeñas células llamadas neuronas se las ingenian para mantenernos funcionando a la perfección.

Básicamente, la electricidad que todos conocemos tiene que ver con el flujo o movimiento de cargas eléctricas. En el caso de nuestro sistema nervioso, esas cargas son proporcionadas por los *iones*, que son partículas, en este caso átomos, que poseen cargas eléctricas ya sean positivas o negativas (piensen en los polos de una batería o de una pila, por ejemplo). Muchos de nosotros conocemos muy bien a algunos iones, ya que son de gran importancia para el sustento de la vida, y solemos incorporarlos con nuestra alimentación. Entre ellos tenemos al *potasio* (símbolo químico = K), muy abundante en bananas y naranjas, el *sodio* (Na) y el *cloro* (Cl), que juntos forman el *cloruro de sodio* o la sal de mesa, y el *calcio* (Ca), que le da fortaleza a nuestros huesos y dientes. Todos tienen carga *positiva*, a excepción del cloro, que es negativo. Algunos de estos iones son de extrema importancia para que la electricidad se mueva por nuestro sistema nervioso, y las principales responsables que permiten ese movimiento de cargas son las anteriormente mencionadas neuronas. Pero, ¿cómo trabajan estas células para llevar a cabo semejante tarea? Y además, ¿cómo se las ingenian para manejar, por ejemplo, un pie desde un cerebro cuando ambos están a una distancia que puede a veces superar los dos metros?

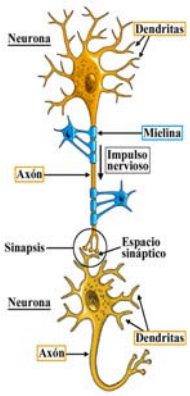
Electricidad ambarina

Hace más de cinco mil años solía forjarse una aleación de oro y plata llamada *electrum*. Los antiguos griegos la conocían como "oro blanco", y era utilizada para fabricar desde monedas hasta el recubrimiento de las puntas de las pirámides egipcias. La tonalidad amarilla pálida del electrum probablemente llevó a que los griegos llamaran al ámbar (resina de árbol fosilizada de un color similar) *elektron*. Fueron ellos mismos los que primero notaron que al frotar el ámbar con una piel de animal se producía la atracción de pequeños elementos hacia la resina, algo que actualmente conocemos como *electricidad estática*, y que podemos reconocer cuando por ejemplo caminamos sobre una alfombra frotando nuestro calzado y nos da una descarga eléctrica al tocar el picaporte de una puerta. Pues bien, la palabra *electricidad* proviene entonces del nombre que se le diera al ámbar, y tiene relación directa con sus propiedades *electrostáticas* particulares.

Cableado interno: las neuronas

Muchas veces habremos dicho o escuchado que a alguien "le faltan jugadores", cuando se considera que esa persona no está en sus cabales. Pues bien, esos jugadores son nada más y nada menos que las neuronas, y cuando faltan realmente pueden traer serios problemas.

La función principal de las neuronas es la de conducir los impulsos nerviosos, los cuales son ni más ni menos que electricidad, que en el caso del sistema nervioso ocurre por movimientos de iones, algo que veremos en detalle en la próxima sección. Estos impulsos se movilizan en ambos sentidos entre los órganos sensoriales -la piel, los ojos, la lengua, el oído, las fosas nasales, etc.- y el sistema nervioso central -cerebro y médula espinal-.



Esquema de dos neuronas conectadas

La forma clásica en que se representa a las neuronas en los libros de texto es la de una especie de "estrella" con varias puntas de un tamaño pequeño a mediano, y una prolongación extremadamente larga, capaz de extenderse a grandes distancias. A las puntas más cortas y mayoritarias se las denomina *dendritas*, las cuales se encargan de recibir las señales que llegan a las neuronas, mientras que al largo y solitario "cable" se lo conoce como *axón*, estando a su cargo la transmisión del impulso eléctrico hasta su destino final, que pueden ser otras neuronas o un músculo. Llamar a los axones "cables" no es una exageración, ya que es por su interior por donde viaja el impulso nervioso en forma de electricidad,

llegando algunos de ellos a medir hasta un metro de largo, como los que conectan a la médula espinal –que forma parte del sistema nervioso y corre por dentro de nuestra columna vertebral- con el extremo de los dedos de nuestros pies..

Además, y como para reforzar el paralelismo entre los axones y los cables, existe un tipo particular de células acompañantes quienes se encargan de formar la *mielina*, que es una cubierta que recubre a los axones, y que cumple una función aislante equivalente a la que desempeña el recubrimiento plástico de los cables,.

Moviendo las cargas para mover el cuerpo

Ahora bien, sabemos que en nuestro sistema nervioso se genera un impulso eléctrico que es transmitido de un lugar al otro del cuerpo a través de las neuronas. Ya dijimos que las cargas que se necesitan para movilizar a ese impulso son proporcionadas por iones, así que ahora nos queda saber cómo se las ingenian las neuronas para mover a la electricidad a través de sus largos cables, para que la información recibida en una parte del cuerpo sea enviada a otro sector del mismo, de manera que se pueda obtener una respuesta inmediata y adecuada ante cualquier estímulo que se nos presente.

Cuando una neurona está en reposo -esto es, no recibe

Números asombrosos

Las neuronas son células microscópicas que no solamente se alojan en nuestro cerebro, sino que están distribuidas en todo nuestro sistema nervioso. El cerebro humano posee aproximadamente cien mil millones de neuronas -un uno con once ceros-, y cada una de ellas es capaz de conectarse a su vez con otras "colegas" -entre mil y diez mil-, ya sea tanto para recibir como para enviar información, así que se calcula que el número de conexiones neuronales alcanzaría la friolera suma de cien billones, es decir ¡un uno con catorce ceros detrás!

Las actuales *supercomputadoras* han sido capaces en estos últimos años de superar por muy poco la velocidad de procesamiento de datos de nuestro cerebro, aunque para hacerlo necesitan unos siete mega watts de energía –lo suficiente para alimentar seis mil hogares-, mientras que para el mismo trabajo nuestro cerebro necesita 20 watts, que es la energía necesaria para encender una lamparita de bajo consumo, una eficiencia que va a llevar muchos años para superar.

estímulo alguno del exterior-, la cantidad de iones sodio afuera de la célula es mayor que adentro de la misma, algo opuesto a lo que ocurre con el potasio. Existen *bombas* impulsoras en la superficie de las neuronas –pequeñas proteínas que comunican el interior celular con el medio externo y que bombean iones- que se encargan durante ese tiempo de expulsar más sodio hacia afuera del potasio que entra, lo que hace que la neurona esté "más positiva" afuera que adentro, ya que si bien ambos iones son positivos, esta carga está más "concentrada" en el exterior.

Ante un estímulo externo –una imagen, un pinchazo, una quemadura, un sonido, etc.-, comienzan a actuar otras proteínas llamadas *canales*. Estas proteínas comunican el interior de la neurona con el exterior, pero a diferencia de las *bombas* lo hacen de manera selectiva, ya que poseen "puertas" de ambos lados que se abren o cierran dependiendo las necesidades del momento. La estimulación de la neurona produce señales que llevan a la apertura de estos canales que solamente dejan pasar al sodio, haciendo que este comience a entrar a la célula a una mayor velocidad que la bomba encargada de sacarlo, dando lugar a lo que se conoce como *depolarización*, en donde las cargas a ambos lados de la membrana celular se invierten, encontrándose ahora "más positiva" adentro que afuera. A medida que esto ocurre, los canales de sodio comienzan a cerrarse lentamente mientras que se empiezan a abrir los de potasio, que se van a encargar de *repolarizar* la membrana al enviar estos iones positivos hacia afuera. Finalmente, todos los canales se cierran y la bomba sodio-potasio retoma su función normal para mantener el equilibro iónico descrito al principio, de manera que la neurona retome su estado de reposo a la espera de un nuevo estímulo. Este cambio de polaridad de membrana, denominado *potencial de acción*, se va dando en forma consecutiva a lo largo del axón, transmitiendo así el impulso eléctrico a gran velocidad desde el cuerpo de la neurona estimulada hasta la terminal axonal (el extremo final del "cable").

¿Y cómo pasa ese potencial de acción de una neurona a la otra cuando hay que cubrir grandes distancias? Pues bien, cuando los cambios de carga llegan al final del axón, se inician una serie de reacciones químicas que van a hacer que se liberen al exterior de la neurona grandes cantidades de unas pequeñas moléculas llamadas *neurotransmisores* (su nombre los describe a la perfección), los cuales al salir del axón viajan por el *espacio sináptico* (del griego *sunapsis*, "punto de contacto") que separa ambas neuronas, hasta llegar a la dendrita de la vecina más cercana. Allí comienzan entonces otra serie de reacciones que reinician el impulso eléctrico, el cual seguirá viajando a través de la segunda neurona, y así hasta llegar al destino final. Sería algo así como que en el extremo del axón hay un enchufe que a su vez se conecta a una toma que se localiza en la dendrita de otra neurona, permitiendo que el impulso eléctrico continúe su travesía sin obstáculos.

El movimiento se demuestra andando

Cuando el potencial de acción llega a un músculo, ese impulso eléctrico debe ser "traducido", ya que ambos tejidos –nervioso y muscular- son bastante diferentes en forma, composición y función. Para ello las células musculares poseen en su superficie –la cual está en contacto con las terminales axonales de las neuronas- "sensores de voltaje", que son canales pero esta vez de Calcio. Cuando estos canales son activados por la llegada del impulso eléctrico, se inicia una salida masiva de Calcio, produciéndose así la contracción de la fibra muscular, dando lugar a, por ejemplo, los latidos de nuestro corazón, o generando rápidos movimientos de nuestro cuerpo en respuesta a un estímulo externo, como cuando alejamos la mano del fuego cuando nos estamos quemando. Justamente, este proceso de "traducción" era el que Galvani reproducía cuando estimulaba los nervios de los músculos de las patas de rana con energía eléctrica, logrando moverlos "mágicamente" (para la época, claro).

Genios, imitadores y modelos de inspiración

Es increíble que a pesar de las limitaciones que existían para investigar en el siglo XVIII -ya que si bien había microscopios el concepto de célula era todavía bastante arcaico-, Galvani se las ingenió para explicar

muchos de los sucesos que observaba durante sus experimentos, demostrando un gran poder de predicción. Él explicó que la generación de electricidad en nervios y músculos debía estar dada por la acumulación de cargas positivas y negativas en dos superficies opuestas –que ahora sabemos son el interior y exterior de las células nerviosas y musculares-, basándose en el diseño de algunos de los primeros artefactos que se estaban desarrollando en su época para producir y almacenar electricidad. Galvani también explicó que el flujo de la electricidad por los tejidos podría ser explicado mediante la existencia de poros que comunicaran a ambas superficies para permitir la conducción de las cargas, es decir que predijo la existencia de los canales iónicos ¡casi doscientos años antes que se descubrieran! Por último, tenía muy claro que la electricidad que el aplicaba no era la causa directa de la contracción, sino que su función era la de iniciar la cascada de eventos –en este caso la activación del potencial de acción en los nervios- que finalmente llevaría al movimiento muscular.

El show debe continuar

El sobrino de Galvani, el físico Giovanni Aldini (1762-1834) –de quién dicen fue la verdadera inspiración de Mary Shelley para su personaje de Víctor Frankenstein-, se la pasaba haciendo demostraciones públicas del galvanismo mediante la aplicación de electricidad a cuerpos de animales y de reclusos recientemente ejecutados, como en el famoso caso del asesino londinense George Forster, quien fuera sentenciado y ajusticiado en la horca. Cuenta la historia que su cuerpo fue inmediatamente entregado a Aldini, quien delante de varios testigos demostró la existencia de la "electricidad animal", al lograr que Forster se convulsionara y abriera los ojos a través de la aplicación de la nueva metodología que había diseñado su tío. Mientras las autoridades decidían si sería necesario ejecutar al reo nuevamente –lo que obviamente no hizo falta-, uno de los testigos quedó tan impresionado que murió de susto luego de retornar a su casa tras presenciar tan macabro espectáculo.

Copiando a Víctor

Bien, ya vimos que realmente la electricidad –aunque a valores miles de veces más pequeños que la que circula por nuestras casas- atraviesa nuestros cuerpos de manera constante para mantenernos con vida, interactuar

con el medio que nos rodea, recordar y memorizar todo lo que nos pasa –o casi todo- y responder a todo tipo de estímulos, pero ¿puede dar vida como en el caso del monstruo de Frankenstein?

Más de uno debe recordar las típicas escenas en las series televisivas de hospitales, cuando a alguien se le detiene el corazón y le aplican altas dosis de electricidad para que vuelvan a la vida, pero ese es un caso muy particular. El corazón, que es puro músculo, necesita que le den un "sacudón" cuando falla, y obviamente debe ser con electricidad, que como vimos es la que lo mantiene funcionando como un reloj. Pero ello no es garantía de que vuelva a trabajar –todo depende de la condición de ese corazón y del origen de su deficiencia-, y cuanto más rápido se aplique el procedimiento luego del infarto, mayores son las probabilidades de éxito. Un corazón que no late implica que no haya bombeo de sangre al resto del cuerpo, y con ello todos los órganos y tejidos no pueden recibir oxígeno, conduciéndolos a una lenta degradación, proceso que realmente obsesionaba a Víctor Frankenstein, y motivo por el cual inició un largo y tedioso camino que solamente produjo desgracias.

En base a todos estos conocimientos que poseemos actualmente, y teniendo en cuenta que la criatura le llevó un largo tiempo de "ensamblaje" al doctor Frankenstein (ya hablaremos sobre eso en la siguiente sección), es imposible pensar que le pudiera haber infundido vida mediante impulsos eléctricos. Lo más probable es que su creación se hubiera movido espasmódicamente, pero de la misma manera que lo hicieran las ancas de rana que utilizó Galvani en sus experimentos, o los cuerpos de los convictos de Aldini.

Así que nos podemos quedar tranquilos, ya que nadie podría reproducir jamás un experimento semejante con tan abominable resultado. A no ser que a alguien se le ocurriera emular al doctor Frankenstein, y en una de esas descubra algún pequeño detalle que se le pasó por alto al famoso científico en sus investigaciones. Pero por ahora, afortunadamente, eso es solamente ciencia ficción.

Cómo armar un cuerpo y no ser rechazado: el sistema inmune

Armando el rompecabezas

La creación de la criatura, al igual que la forma de darle vida, también aparece sugerida en la novela de Mary Shelley. No hay una descripción detallada de cómo el doctor Frankenstein llevó a cabo su tarea, la cual le tomó ¡casi dos años! En ese sentido, otra vez entró a jugar la imaginación de Hollywood, que sugirió en todas sus películas –inclusive en la versión de 1994, que fuera una de las más fieles al libro original- que partes de diferentes cuerpos humanos fueron utilizadas por el obsesivo científico para "armar" a su criatura.

Si leemos con detalle el relato de Shelley, nos vamos a dar cuenta de que lo que muestran las películas sería algo así como una versión "suavizada" de la novela. Cuando en la historia original Víctor Frankenstein descubre que es capaz de animar materia sin vida, se da cuenta de la complejidad que le espera para preparar el "soporte o armazón" humano de fibras, músculos y venas al cual deberá dar vida. A pesar de ello decide comenzar la titánica empresa de crear un nuevo ser humano, complicando aún más su tarea al decidir hacerlo de un tamaño colosal –casi dos metros y medio de altura-, lo cual lo obligará a destinar unos cuantos meses de su vida solamente para "reunir y ordenar el material".

A partir de ese momento comienza la parte horrorosa de la historia, ya que el protagonista se describe arrastrándose por los pantanos de los cementerios, torturando animales y visitando osarios, salas de disección y ¡mataderos! Mary Shelley de esta manera no hace más que sugerir que Frankenstein construyó su criatura no solo con partes humanas, sino también con restos de animales. También da a entender que el científico fabricó un cuerpo desde sus fundamentos, partiendo de un esqueleto al cual le fue agregando cada una de las partes necesarias para construir un ser humano completo –músculos, tendones, venas, arterias, piel, etc.-, algo mucho más complejo que ir cosiendo brazos, piernas, torso y cabeza, tal como se representa en las producciones cinematográficas. Ese colosal trabajo explicaría por qué Frankenstein invirtió tanto tiempo en su proyecto, que si bien se inició con la idea de dar vida a un cuerpo artificial, tuvo como objetivo principal el de aplicar la "exitosa" metodología a la resurrección de

los muertos, impidiendo que los cuerpos de aquellos que pasaran a mejor vida comenzaran su lento decaimiento, un tema que obsesionaba más a Frankenstein que la mismísima "chispa de la vida" que había descubierto. Una vez consumada su obra, el científico se dio cuenta de que su propósito central era imposible y que era mejor no jugar a ser Dios.

De cualquier manera, y a pesar del fracaso de Víctor Frankenstein, ¿sería posible un experimento semejante, teniendo en cuenta los avances que ha logrado la ciencia en los casi doscientos años que separan a nuestro presente de la época en que Mary Shelley escribió su novela?

La (moderna) historia de los trasplantes

Sabemos desde la segunda mitad del siglo XX que es posible reemplazar partes de nuestro cuerpo a través de trasplantes de órganos -hígado, riñón, pulmones, corazón, páncreas, intestinos- o de tejidos -piel, médula ósea, venas, córneas-. También podemos recobrar la sangre perdida a través de transfusiones, e inclusive se pueden reimplantar miembros o parte de ellos luego de haber sido amputados en accidentes. En muchos de estos casos, las intervenciones quirúrgicas requieren un minucioso, largo y paciente trabajo para conectar venas, arterias, nervios, músculos, huesos y tendones, algo en lo que aparentemente el doctor Frankenstein parecía tener vasta experiencia. Claro, con la diferencia que los procedimientos reales se deben

Juntando las piezas

Existen reportes muy antiguos que datan de los primeros siglos después de Cristo, que describen trasplantes de corazón, piel o miembros –como el realizado por los santos gemelos Cosme y Damián, patronos de los cirujanos-, y en partes del mundo tan alejadas entre sí como China, la India o el continente europeo, pero estas historias no suelen describir los resultados más allá de la hazaña de semejante empresa. En la Europa de principios del siglo XX, se registraron los primeros intentos serios de trasplantes, encontrándose siempre una dificultad inesperada: los receptores de las donaciones no vivían más allá de unas pocas semanas, hecho por el cual en esas épocas comenzó a escucharse con mayor frecuencia la palabra *rechazo*, pero sin tener la más remota idea de la causa de dicho fenómeno.

hacer en unas pocas horas y no en dos años, sobre todo para preservar la salud del paciente, que entra vivo y debe salir con vida de la sala de operaciones, a diferencia de la criatura que protagoniza este capítulo.

En relación a los trasplantes, seguramente muchos han oído las palabras "compatibilidad" y "rechazo", pero ¿de qué se tratan? ¿Tuvo en cuenta el doctor Frankenstein este tipo de conocimientos cuando decidió llevar a cabo semejante empresa? ¿Es posible crear un ser humano completo con partes de otras personas? ¿Y de animales? Pues bien, la explicación correspondiente a la primera pregunta va a darnos las respuestas a las últimas tres, que simplemente serían: no, no y… no.Los primeros intentos serios de trasplantes en las primeras décadas del mil novecientos resultaron trágicos fracasos, los cuales eran atribuidos a "la fuerza y el poder de la individualidad". Esta última frase no estaba muy lejos de la realidad, ya que si bien en su momento describía algo intangible e inexplicable, actualmente se sabe que nuestro sistema inmune, el cual nos protege de la invasión de organismos extraños (bacterias, virus, parásitos), también se encarga de que tengamos cierta individualidad en cuanto a los componentes que forman nuestro cuerpo (células, tejidos, órganos).

El primer trasplante exitoso, uno de riñón efectuado en el año 1954, fue realizado entre gemelos idénticos, ya que en esos casos particulares la "individualidad" es compartida entre ambos pacientes y no existe rechazo alguno. Pocos años antes se había determinado que el rechazo en los trasplantes se debía a un ataque del sistema inmune del receptor hacia el órgano o tejido del donante, debido a que eran reconocidos como un elemento extraño, iniciando así una serie de procesos que llevaban indefectiblemente a la destrucción del "agresor".

Reconociendo al invasor

Pues bien, ¿por qué un cuerpo va a desconocer a una parte que proviene de otro ser humano y que va a reemplazar algo que no funciona correctamente? Para comprender este mecanismo tenemos que entender primero cómo trabaja nuestro sistema inmunológico.

El primer paso para una defensa eficiente es identificar lo desconocido. Nuestro organismo "aprende" desde las etapas iniciales de su desarrollo a reconocer a sus propios componentes, eliminando a todo aquel integrante del sistema inmune que pudiera atreverse a atacar a las propias células del cuerpo (algo que se conoce como *autoinmunidad*), quedando disponible de esa manera la maquinaria fundamental para arremeter contra todo lo que se atreva a invadirlo y no se nos parezca en nada. Gran parte de ese "aprendizaje" tiene lugar en una glándula llamada *timo*, que se encuentra en el pecho, cerca del corazón, en donde un grupo de células llamadas *linfocitos T* son seleccionadas de manera que aquellas que pudieran iniciar una respuesta *autoinmune* son eliminadas, mientras que las que tuvieran el potencial para responder contra elementos extraños a nuestro cuerpo son conservadas.

Adaptarse para vivir

Nuestro cuerpo suele defenderse de manera efectiva ante ataques de desconocidos, entre los cuales podemos contar a los virus, las bacterias, los parásitos, algunas toxinas –provenientes de microorganismos o de venenos-, ciertas células tumorales –que se vuelven irreconocibles cuando "enloquecen" y empiezan a crecer sin control- y, desafortunadamente, casi todo lo que se trasplante desde otra persona. Este último caso suele despertar un tipo de defensa llamada *inmunidad adaptativa*. Esta forma de respuesta de nuestro sistema inmune lleva ese nombre porque es capaz de iniciarse a partir del reconocimiento de invasores extraños, "adaptando" a toda la maquinaria de defensa inmune para que fabrique rápidamente anticuerpos y células que se encarguen de destruir específicamente al enemigo, sin afectar ni a una sola célula de nuestro cuerpo.

Destruyendo al enemigo

Una vez que nuestro cuerpo se reconoce a sí mismo, el sistema inmune está listo para defenderlo de cualquier ataque externo. Para ello cuenta con dos líneas de ataque, en la que participan un par de "ejércitos" muy bien entrenados. Los "soldados" del primero de ellos son los linfocitos T mencionados más arriba –aquellos que superaron la selección en el timo- ,

mientras que el otro grupo de defensa está compuesto por un grupo de proteínas llamadas *anticuerpos*.

Dentro de la primera tropa de combate, la de los linfocitos T, existe un grupo de células que son capaces de identificar al enemigo con una precisión extrema. Una vez reconocido el atacante, son esos mismos linfocitos T quienes se encargan de atacarlo y destruirlo -como ocurre con algunos tipos de tumores, células infectadas con virus o con las células de los tejidos u órganos trasplantados que no sean reconocidos-. Mientras tanto, otro grupo especializado de linfocitos envía señales que sirven para reclutar más células destructoras y para coordinar que todo el proceso se realice de manera ordenada y eficiente.

Como no siempre es suficiente con la línea de defensa que componen los linfocitos, muchas veces entra en acción un ejército paralelo que se encarga de terminar con cualquier enemigo que se muestre resistente a los embates del sistema inmune. Esa milicia tenaz está formada por otra tropa de linfocitos conocidos como *células B*, quienes se encargan de producir un tipo de proteínas muy variables –algo imprescindible para reconocer a atacantes que pueden ser muy diversos- llamadas *anticuerpos*, quienes se dedican a destruir al invasor sin ningún tipo de piedad.

Orígenes comunes

En los humanos, tanto las células B como los linfocitos T nacen en la médula ósea, al igual que el resto de las células de nuestra sangre: los glóbulos rojos, las plaquetas y los glóbulos blancos o *leucocitos*, a los cuales también pertenecen nuestros amigos T y B. La *médula ósea* se sitúa dentro de algunos huesos de nuestro esqueleto, como la pelvis y los extremos de los huesos de las piernas y de los brazos. Es allí, donde a partir de una célula común –o *célula madre de la sangre*- se diferencian aquellas células que al salir al torrente sanguíneo viajarán a diversas partes del cuerpo para defenderlo o para "aprender" qué es lo que no deben atacar.

La importancia de la superficialidad

Para poder entender qué hace compatible a una célula con otras, es importante saber que básicamente todo lo que puede ser reconocido por nuestro sistema inmune posee una superficie, ya sea se trate de la membrana

externa de una bacteria, la envoltura de un virus o la estructura de una toxina. Esas superficies poseen una forma tridimensional única, que puede ser bastante sencilla –como en una toxina- o extremadamente compleja –como la de una bacteria-, y todas ellas difieren significativamente de la superficie de cualquiera de las células de nuestro cuerpo.

Acabamos de ver de una manera detallada cómo nuestro cuerpo rechaza lo extraño, sin ninguna compasión con lo que no reconoce. Para que ese rechazo no ocurra hay que comprender de qué se trata la "compatibilidad", y la superficie de las cosas tiene mucho que ver con ella. A las partes de esas superficies que pueden despertar una reacción del sistema inmunológico se las llama *antígenos*, los cuales son generalmente proteínas que pueden ser reconocidas ya sea cuando están completas o fragmentadas en muchas piezas, llamándose en este caso *epitopes* a los distintos pedacitos.

Complejos para una complejidad complicada

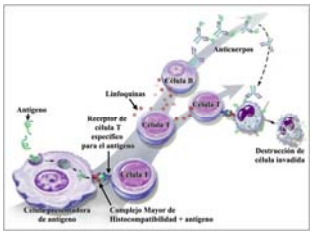
Pero vamos a lo que nos interesa, es decir a los trasplantes y las posibilidades de crear una criatura *frankensteiniana*. Existe un tipo de proteínas que se asoma en la superficie de casi todas nuestras células llamadas *complejo mayor de histocompatibilidad* (*MHC* de sus siglas en inglés). Estos complejos cobran mucha importancia en algunos tipos celulares –entre ellos las células B y los macrófagos- los cuales pueden comportarse como *células presentadoras de antígeno*. ¿Y qué es esto? Pues bien, la mayoría de estas células se pueden "comer" (o científicamente dicho

Anticipando el ataque

Entre las estructuras más *antigénicas* -o sea que mejor activan las defensas corporales- tenemos a las superficies de los virus y las bacterias, y es por ello que algunas de esas estructuras virales o bacterianas son las que forman parte de muchas vacunas, ya que por sí solas -y no formando parte de los peligrosos gérmenes- son capaces de iniciar una respuesta inmune que prepara al cuerpo para responder inmediatamente cuando una invasión verdadera ocurra. Por ejemplo, algunos de los linfocitos B productores de anticuerpos seleccionados por nuestro sistema de defensa van a desarrollarse como *células B de memoria*, que permanecerán circulando por nuestro cuerpo durante años, lo cual permitirá una defensa más rápida y efectiva en caso que el invasor se atreviera a atacarnos por sorpresa.

fagocitar) a los invasores externos, y de esa manera "tragar" sus antígenos y "digerirlos". Los pequeños fragmentos de antígenos resultantes, los *epitopes* de los que hablábamos antes, viajan a la superficie de estas células y se reúnen con las moléculas del complejo de histocompatibilidad, de manera que juntos se transforman en una "bandera" o señal externa que será "presentada" a otras células, por ejemplo a los linfocitos T, quienes deberán reconocer esa "marca" mediante proteínas propias de su superficie llamadas *receptores*. Si las células T no reconocen a los pedacitos unidos al complejo de histocompatibilidad (algo que "aprendieron" en el timo), se inicia la respuesta inmune que llevará indefectiblemente a la destrucción de la célula "contaminada".

Un sistema similar de reconocimiento de antígenos existe para los anticuerpos. En este caso, cuando algún receptor en la superficie de una célula B reconoce a un extraño, se lo traga, lo digiere y lo "presenta" junto con una molécula del complejo de histocompatibilidad, de manera similar a como lo vimos en el párrafo anterior. Este conjunto antígeno-complejo es reconocido específicamente por un linfocito T, quien en lugar de atacar y destruir a esa célula comienza a liberar una sustancia llamada *linfoquina*, cuya función es ordenarle a ese mismo linfocito B que se "transforme", se multiplique y comience a producir una cantidad enorme de anticuerpos. Estos últimos salen de la célula y comienzan a buscar a aquellos invasores que osen exponer en su superficie algunos de los trocitos que reconociera la célula B. Cuando ello ocurre, los anticuerpos comienzan a pegarse al fragmento reconocido del usurpador, el cual en ese momento puede comenzar a despedirse de esta vida. A partir de allí pueden



Esquema de la acción del sistema inmune, desde la presentación del antígeno hasta la destrucción del invasor mediante células T y anticuerpos

pasar dos cosas, o que el invasor "decorado" de anticuerpos sea reconocido por un grupo de glóbulos blancos especializados –como los *macrófagos*-, que tienen como objetivo destruirlo (por ejemplo comiéndoselo), o que se active un mecanismo llamado *complemento*, que entre otras funciones tiene la de generar agujeros en las membranas de los enemigos (sobre todo en bacterias), lo que lleva a que finalmente "revienten".

Muy lindo todo, pero ¿y los trasplantes?

La respuesta inmunológica que se observa en el rechazo de los trasplantes está relacionada directamente con las proteínas que forman parte del complejo mayor de histocompatibilidad. Generalmente nuestras células expresan cerca de una docena de ellas, pero a su vez de cada miembro de esa docena existen cientos de variables dentro de la población humana. Encontrar dos personas que tengan la mayor parte de estas moléculas del mismo tipo -es decir que sean "compatibles"- es un gran desafío, y en el único caso que ello ocurre es en el de los gemelos idénticos, y es por ello que el primer trasplante de riñón en 1954 fue todo un éxito. ¿Y por qué se necesita que sean compatibles? Justamente porque cuando las proteínas del complejo de histocompatibilidad son diferentes también son reconocidas por el sistema inmune como un elemento extraño, haciendo que el tejido o el órgano trasplantado incompatible sean destruidos en cuestión de días u horas. Viendo que las probabilidades de un cien por ciento de compatibilidad para la docena de proteínas del complejo de histocompatibilidad que todos tenemos son casi imposibles, ¿cómo es que se siguen haciendo trasplantes? Pues bien, la única opción posible por ahora es contrarrestar al causante del rechazo, lo que significa que

Ataques aislados o combinados

Durante el rechazo luego de un trasplante, la línea de ataque puede ser liderada directamente por los anticuerpos, como ocurre en las transfusiones de sangre entre grupos sanguíneos incompatibles, otras veces los anticuerpos combinan la ofensiva con los linfocitos T, como en el caso de los trasplantes de corazón o riñón, o son estas mismas células T las que hacen todo el trabajo sin ninguna ayuda cuando hay que atacar tejidos desconocidos que provengan de trasplantes de córnea, piel o médula ósea.

hay que anular por completo al sistema inmune. Para ello existen un grupo de drogas que suelen administrarse durante y después de los trasplantes, conocidas como *inmunosupresoras*, las cuales son las encargadas de evitar una reacción desmedida del sistema inmune ante la presencia de células extrañas. Uno de los inmunosupresores más conocidos que se utilizan en estos casos son los *glucorticoides*, los cuales son muy eficientes a la hora de frenar la respuesta inmune, tanto a nivel de los linfocitos T como de los anticuerpos. Pero a veces el remedio puede ser peor que la enfermedad, ya que el uso de estas drogas por períodos prolongados puede llevar a efectos secundarios indeseados, sumando a ello el peligro que conlleva tener un sistema inmune incapaz de defenderse ante el acecho de aquellos gérmenes oportunistas que pudieran atacar al paciente inmunosuprimido.

Donde hay vida, hay esperanza

Si bien el panorama pintado por la dualidad compatibilidad-rechazo no parece muy alentador, algunos resultados promisorios se empiezan a asomar en el horizonte para paliar este tipo de complicaciones. Más de uno dirá que gracias al sistema inmune a nadie se le va a cruzar por su cabeza una idea similar a la de Víctor Frankenstein, pero convengamos que por culpa de un científico trastornado -y que además existió solamente en la mente de una escritora- no vamos a dejar de lado a mucha gente que necesita llevar una vida plena gracias a la ayuda de un trasplante.

En la actualidad se está trabajando en dos modelos para corregir el problema del rechazo y el uso de drogas inmunosupresoras tan perjudiciales. Por un lado se está estudiando la utilización de órganos provenientes de porcinos para trasplantes en humanos. ¿Cómo? ¿Entonces Frankenstein no estaba tan equivocado en usar partes de animales? Todo tiene una explicación. El tamaño de los órganos de los cerdos es muy similar al de los nuestros, y se los está modificando genéticamente para que nuestro cuerpo no los reconozca como extraños, cambiándoles las proteínas más antigénicas de la superficie de sus células por otras que se parezcan más a las nuestras.

El otro enfoque es el de la fabricación de órganos a medida a partir de células del propio paciente. La idea es crear un "molde" del órgano a reemplazar, y hacer que crezcan sobre y dentro de él las células específicas

que se necesiten para que funcione. Para ello se toman las células sanas del órgano o tejido a reemplazar separándolas de las enfermas –o se utilizan "células madre" que sean "dirigidas" para que se transformen en un tipo celular particular-, y se las deja multiplicarse por un tiempo sobre una matriz -que puede ser de polímeros sintéticos (plásticos) o naturales (proteínas)-, para luego trasplantar el producto resultante en el paciente. Esto por ahora ha funcionado con tejidos sencillos formados por pocos tipos celulares y cuya estructura sea plana (piel, cartílago) o hueca (venas, vejigas). Lamentablemente no se ha podido avanzar mucho en la generación de órganos tan complejos como el corazón, el riñón o el hígado, ya que los mismos están formados en algunos casos por docenas de tipos celulares diferentes, los cuales a su vez se ordenan de una manera específica en el órgano para que éste pueda funcionar a la perfección, algo que por ahora solamente la naturaleza ha logrado reproducir y que todavía no hemos sido capaces de emular.

Sin dudas, estos dos proyectos tienen un gran futuro por delante, pero aparentemente ambos todavía están muy lejos de hacerse realidad.

Entonces el monstruo ¿es posible?

Pues bien, después de explicar lo difícil que es lograr que un solo órgano no sea rechazado debido a su incompatibilidad, queda claro que la criatura creada por Víctor Frankenstein sería irrealizable, no solo en aquella época que nada se sabía sobre estos temas, sino que aun en la actualidad sería imposible intentar semejante proeza. Quizás en un futuro muy lejano algo parecido podría llevarse a cabo, y como hemos visto inclusive utilizando partes de animales como sugiriera Mary Shelley, pero los mismos interrogantes éticos que el protagonista de la novela se planteara luego del despertar de su monstruo aparecerían indefectiblemente en nuestra sociedad moderna, probablemente impidiendo que apareciera un nuevo Víctor Frankenstein con ideas de grandilocuencia.

Mientras tanto, seguiremos intentando engañar a nuestro tan superficial sistema inmune, pero con el solo objetivo de prolongarle la vida a aquellos que tanto lo necesitan.

Bibliografía

- Bodanis, D. Electric Universe: The Shocking True Story of Electricity (Universo eléctrico: la escandalosa verdadera historia de la electricidad). Crown Publishing Group (Ed.), New York, NY, EE.UU. (2005). 320 páginas. ISBN: 9781400045501.

- Hamilton, D. A History of Organ Transplantation: Ancient Legends to Modern Practice (Historia de los trasplantes de órganos: desde las leyendas antiguas a la práctica moderna). University of Pittsburgh Press (Ed.), Pittsburgh, PA, EE.UU. (2012). 560 páginas. ISBN: 9780822944133.

- Pollard, T.D., Earnshaw, W.C., y Lippincott-Schwartz, J. Cell Biology (Biología celular). Saunders (Ed.), Philadelphia, PA, EE.UU. (2007). 928 páginas. ISBN: 9781416022558.

- Salmerón Jiménez, M.A. Mary Shelley y la ciencia de Víctor Frankenstein. (2007). Revista la Ciencia y el Hombre, Volumen XX, número 2. Universidad Veracruzana, México.

- Scott, M. Strange Science, the rocky road to modern paleontology and biology (Ciencia Extraña: el complicado camino hacia la paleontología y la biología moderna). (2012). http://www.strangescience.net.

- Shelley, M. Frankenstein or the modern Prometeus (Frankenstein o el Prometeo moderno). eBooks@Adelaide, Biblioteca de la Universidad de Adelaida (Ed.), Adelaida, Australia del Sur, Australia. (1831, edición revisada de la original de 1818). 172 páginas.

- Squire, L., Bloom, F., Spitzer, N., du Lac, S., Ghosh, A., y Berg, D. Fundamental neuroscience (Neurociencia fundamental). Academic Press (Ed.), Waltham, MA, EE.UU. (2008). 1280 páginas. ISBN: 9780123740199.